

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**Porovnání diagnostických metod pro detekci ocelové výztuže
v železobetonových konstrukcích**

**Comparison of diagnostic methods for detection of reinforcing steel in
reinforced concrete structures**

Student:

Bc. Lukáš Fritscher

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Libor Žídek

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Fritscher**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: Porovnání diagnostických metod pro detekci ocelové výztuže v
železobetonových konstrukcích
Comparison of diagnostic methods for detection of reinforcing steel in
reinforced concrete structures
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je vzájemné porovnání výstupů diagnostických zařízení určených k detekci betonářské výztuže.

Doporučené členění práce:

1. Úvod.
2. Historie výstavby železobetonových konstrukcí.
3. Zkušební metody a postupy pro detekci betonářské výztuže.
4. Experimentální část - stavebně technický průzkum vybraných objektů.
5. Závěrečné hodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

ANTON, Ondřej. Základy zkušebnictví: návody do cvičení. Brno: CERM, 2002. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2079-0.
KOPEC, Bernard. Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV). Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
CIKRLE, Petr; HAVLÍKOVÁ, Duňa; AMBROSOVÁ, Věra. Zkoušení stavebních materiálů: laboratorní cvičení. Brno: CERM, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0641-0.
DROCHYTKA, Rostislav. Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012. ISBN 978-80-260-2210-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Libor Židek**

Datum zadání: 28.02.2017

Datum odevzdání: 30.11.2017



doc. Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB –TUO má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejňovány v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na porovnání diagnostických metod pro detekci ocelové výztuže, předmětů a vad zabudovaných v železobetonových konstrukcích. Teoretická část práce se věnuje jednotlivým diagnostickým metodám užívaným při diagnostice železobetonových konstrukcí. Dále jsou zde uvedena přístrojová zařízení, včetně jejich popisu a metodiky měření, která byla vybrána pro účely experimentální části.

Cílem experimentální části práce bylo srovnání výsledků nedestruktivních měření se skutečnými nebo referenčními hodnotami jak u laboratorního experimentu, tak na reálných železobetonových konstrukcích vybranými přístrojovými zařízeními. Srovnání bylo zaměřeno na detekci a hloubku uložení zabudovaných předmětů a vad v železobetonových objektech. Výsledkem této části práce je vzájemné porovnání výsledků měření zařízení, vzhledem ke způsobu metody detekce pro vybrané aplikace ve stavební praxi, například při provádění stavebně technického průzkumu.

Klíčová slova

Diagnostika stavebních konstrukcí, nedestruktivní metoda, stavebně technický průzkum, železobetonová konstrukce, elektromagnetický indikátor, georadar.

Annotation

The diploma thesis is focused on comparison of diagnostic methods for detection of steel reinforcement, objects and defects embedded in reinforced concrete structures. The theoretical part deals with individual diagnostic methods used in the diagnostics of reinforced concrete structures. Instrumentation devices, including their description and measurement methodology, which have been selected for the purpose of the experimental part are listed here.

The aim of the experimental part was to compare the results of non-destructive measurements with actual or reference values in both the laboratory experiment and the real reinforced concrete structures by selected instrumentation devices. The comparison was focused on the detection and depth of embedded objects and defects in reinforced concrete structures. The result of this part of the thesis is the mutual comparison of the results of the measurement of the device, due to the method of the detection method for the selected applications in the building practice, for example, in carrying out the technical and technical survey.

Key words

Diagnostics of building structures, non-destructive method, construction-technical survey, reinforced concrete structure, electromagnetic indicator, georadar.

Obsah

I. Teoretická část	11
1. Úvod do problematiky	11
2. Historie výstavby železobetonových konstrukcí	12
3. Diagnostika stavebních konstrukcí	13
4. Základní rozdělení diagnostických metod	14
4.1. Nedestruktivní metody	14
4.2. Semidestruktivní metody	18
4.3. Destruktivní metody	18
5. Diagnostika železobetonových konstrukcí	19
5.1. Zkoušené vlastnosti železobetonových konstrukcí	19
5.2. Metody pro vyšetřování ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích	20
6. Vybraná přístrojová zařízení pro experimentální část	27
6.1. Bosch D-Tect 100	27
6.2. Bosch D-Tect 150	29
6.3. Hilti PS 50 Multidetektor	32
6.4. Profometr 4	35
6.5. Hilti PS 200 Ferroscan	37
6.6. Hilti PS 1000 X-Scan	41
6.7. Georadarový vozík (GSSI-SIR30)	44
II. Experimentální část	47
7. Použitá přístrojová zařízení	47
8. Zkoumané železobetonové objekty	47
8.1. Laboratorní betonová deska	48
8.2. Pozemní stavba – vybrané konstrukční prvky	51
8.3. Silniční panely s částečnou náhradou kameniva struskou	54
8.4. Cementobetonový kryt	57

9.	Vyhodnocení experimentální části.....	60
9.1.	Laboratorní betonová deska	60
9.2.	Pozemní stavba – vybrané konstrukční prvky	64
9.3.	Silniční panely s částečnou náhradou kameniva struskou.....	70
9.4.	Cementobetonový kryt	74
10.	Diskuse výsledků měření	79
11.	Závěr	81
13.	Seznam použitých pramenů	83
14.	Přílohy	86

Seznam zkratek a termínů

ČSN	Česká technická norma
EM	Elektromagnetický
GHz	Gigahertz
TKP	Technické kvalitativní podmínky Ministerstva dopravy
TP	Technické podmínky Ministerstva dopravy
apod.	A podobně
atd.	A tak dále
obr.	Obrázek
resp.	Respektive
viz	Lze vidět (z latinského videlicet)
tzv.	Takzvaný
c	Rychlost světla ve vakuu
h	Tloušťka měřené vrstvy
t	Čas příchodu odražené části energie impulsu
v	Rychlost šíření elektromagnetického vlnění
ϵ_r	Relativní permitivita prostředí
ϕ	Průměrná hodnota

Termíny:

vysokofrekvenční elektromagnetické vlnění (impulz) - jedná se o elektromagnetickou energii, která je vysílána v určitém svazku o frekvenci od několika desítek MHz až po jednotky GHz, šířící se přímočaře o rychlosti světla ($2,997 \cdot 10^8$ m/s)

elektromagnetická indukce - jde o jev, při kterém ve vodiči dochází ke vzniku indukovaného elektromotorického napětí a indukovaného proudu v důsledku časové změny magnetického indukčního toku

vířivé proudy - (neboli Foucaultovi proudy) jedná se o elektrické proudy indukované v elektrických vodičích působením proměnných magnetických polí

vodivost - (též elektrická vodivost) je fyzikální veličina popisující schopnost látky vést elektrický proud

relativní permitivita - látkové konstanta vyjadřující kolikrát se elektrická síla zmenší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem jsou místo ve vakuu umístěna v látkovém prostředí

radar – zařízení, které podle odraženého pulzu elektromagnetických vln zjišťuje výskyt, polohu, směr a rychlost pohybu vzdálených předmětů

I. Teoretická část

1. Úvod do problematiky

Tématem diplomové práce je porovnání diagnostických metod pro detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích. Využití těchto metod je velice důležité nejen při kontrole jakosti a kvality nově budovaných stavebních konstrukcí, ale také při stavebně technických průzkumech (dále jen STP), stávajících konstrukcí. V obou případech se jedná o stanovení reálných parametrů výztuže, kterými jsou (např. pozice, počet prutů, hloubka krycí vrstvy).

Betonové a ŽB konstrukce v dnešní době vznikají díky celé řadě stavebních profesí a stavebních odvětví specializovaných na určitou problematiku. Již při samotném návrhu těchto konstrukcí se zohledňují jak geotechnické podmínky, tak jejich statické působení. Dbá se také na kontrolu a kvalitu použitých stavebních materiálů i na konstrukční detaily a dodržování zásad při výstavbě. Samozřejmě vše s cílem zajištění dlouhodobé životnosti, bezpečnosti, únosnosti a stability za účelem dodržení provozní a funkční spolehlivosti budoucí stavební konstrukce. I přes snahu dodržet tyto cíle může v průběhu výstavby nebo užíváním stávající stavby dojít k potřebě ověření nebo zjištění vlastností dané konstrukce. V tomto případě pak přichází na řadu diagnostika s cílem získat co nejvíce informací o dané konstrukci. Tyto informace jsou pak velice důležité pro zhodnocení technického stavu stavební konstrukce. [2, 5]

Potřeba diagnostiky stavebních konstrukcí nabývá v dnešní době na důležitosti a to z důvodu upřednostňování sanačních prací před novou výstavbou. Z tohoto důvodu je hodnocení existujících konstrukcí v rámci stavebně technického průzkumu jednou z nejdůležitějších zásad pro posouzení stavu konstrukce. Vzhledem k širokému spektru posuzovaných objektů a možných přítomných vad a poruch je potřebné zvolit správné diagnostické metody. Záměry těchto metod jsou cílená měření, detekce požadovaného materiálu, snadná interpretace výsledků, detekce vad a poruch, ale hlavně dosáhnout možná co nejvyšší přesnosti měření diagnostickými přístroji. [3, 5]

2. Historie výstavby železobetonových konstrukcí

Počátky historie betonu, dříve definovaného jako umělý kámen, bývají kladeny do doby starých Římanů. Archeologické nálezy však prokazují opak, který potvrzuje, že již staří Egypťané dokázali využívat v omezené míře procesy hydratace. První zmínky o využití umělého kamene zaznamenal již Plinius, který popisoval sloup v egyptském labyrintu.

Ve 2. století př. n. l. Římané experimentovali v okolí města Pozzuoli s materiály podobnými písku, které byly tvořeny jemným sopečným popelem obsahující oxidy železa, křemíku a hliníku. Po jejich smíchání s vápnem a vodou docházelo k chemickým vazbám, které tvořily dnes velice známý materiál jako „*pozzolanica*“ cement. Odtud pochází dnešní název pucolánový cement. V průběhu času dokázali Římané metodami pokusů a omylů vyvinout dodnes užívaný stavební materiál (cement). Oživení zájmu o rozšíření znalostí v užívání betonu nastalo až v 18. století, kdy v roce 1779 získal Bry Higgins patent na vynález hydraulického cementu (štukové malty) pro omítání exteriérů.

V první polovině 19. století byly velice populární betonové dekorace např. různé balustrády, nádoby na květiny a ornamentální lemy záhonů. Teprve tehdy díky výrobě těchto předmětů francouzským zahradníkem J. Monierem došlo k přelomu v rozšíření betonu. Při vyztužování květináčů drátěnými sítěmi Monier odstranil jednu z hlavních nevýhod betonu a tou je nízká pevnost v tahu. V roce 1890 pak pařížská celosvětová výstava nastartovala celkový rozmach železobetonových konstrukcí. [4]

Od konce 19. století pak byl beton široce využíván pro výstavbu inženýrských staveb. Jak uvádí Seidlerová (1999, s. 5), „*používáním betonu a obzvláště železobetonu došlo po nástupu 20. století na našem území k celkovému rozmachu spjatého s významnými stavebními díly*“. Prosazení betonu oproti klasickým stavebním materiálům nebylo vůbec jednoduché, jelikož byla v používání tohoto materiálu velická nedůvěra doprovázená boji a obtížemi. [10]

3. Diagnostika stavebních konstrukcí

Průmyslový rozvoj vědy a techniky je nezastavitelný a je možné ho sledovat ve všech odvětvích lidské činnosti, což způsobuje vývoj a výrobu různých nových stavebních materiálů. Hospodárné moderní stavby budované z betonu a oceli nahrazují původní historické objekty z kamene a cihel. Z důvodu zvyšování kvality materiálu vzhledem ke zvyšujícím se nárokům na jejich kvalitu a trvanlivost, rostou také požadavky na bezpečnost a spolehlivost nově budovaných stavebních objektů. Z tohoto důvodu je právě diagnostika stavebních konstrukcí vhodnou a spolehlivou metodou pro ověřování vlastností materiálů v konstrukcích, jejich identifikace, klasifikace a také kvantifikace vad a poruch. [11, 6]

Kvalitně provedené hodnocení existujících staveb, které je spjaté s využitím právě diagnostických metod, je cílem STP. Ty bývají zaměřeny na ověření vlastností jak celých konstrukcí, tak jejich jednotlivých částí resp. stavebních materiálů, ze kterých je konstrukce zhotovena. Diagnostika staveb využívá různé terénní (in situ) i laboratorní metody za účelem provádění minimálních zásahů do zkoumané konstrukce tak, aby byly co nejnižší náklady na zhodnocení jejich stavu při získání všech důležitých parametrů a informací pro posuzovatele (obvykle zkušený statik).

Důležitost nedestruktivních metod (nepřímých) vyplývá právě z velmi častého požadavku na minimalizaci zásahů do konstrukce. Ty na rozdíl od destruktivních metod (přímých) neporušují zkoumané objekty a navíc umožňují provádět větší počet měřících míst na konstrukci, a to dokonce i opakovaně v různých časových intervalech. Při zkoušení lze využít jen takové nepřímé metody, u kterých existuje statisticky významná závislost mezi ukazatelem nedestruktivní zkoušky a požadovanou vlastností (např. mezi tvrdostí betonu a pevností v tlaku, apod.). [2, 6]

4. Základní rozdělení diagnostických metod

Diagnostické metody za účelem zkoušení vlastností materiálů a konstrukcí používané v naší praxi, ale i pro zkoušení v zahraničí, se mohou členit dle různých hledisek. Hlavní rozdělení je především dle stupně poškození ověřované konstrukce a to na metody:

- nedestruktivní;
- semidestruktivní;
- destruktivní. [6]

4.1. Nedestruktivní metody

Při nedestruktivním zkoušení betonových konstrukcí většinou nedochází k poškození jejich povrchu. Například při sledování vlastností betonu ověřované konstrukce, nebo v případě potřeby stanovení polohy, průměru a množství ocelové výztuže při nedestruktivním zkoušení se statická funkce zkoušeného objektu nenaruší vůbec případně jen nepatrně. Samozřejmě že nedestruktivní metoda je i taková, která na povrchu zkoušené konstrukce nějakou stopu zanechá (např. sbroušení, vryp nebo vtisk). [6, 13]

Výhodou nedestruktivního testování neboli defektoskopie je umožnění několikanásobného měření na stejném místě konstrukce, zaznamenávání změn v čase a jejich následné statistické vyhodnocení. Hlavním nedostatkem těchto metod je fakt, že zjišťujeme pomocnou charakteristiku daného materiálu, která je s požadovanou v určité závislosti. Z tohoto důvodu si moderní nedestruktivní metody založené na počítačové technologii vyžadují rozšířené inženýrské znalosti založené na fyzikálních a chemických poznatcích, aby nedocházelo k nesprávným hodnocením. [19]

Nedestruktivní metody můžeme rozčlenit na metody dle *fyzikálního principu zkoušení* a na metody dle *měřené fyzikální veličiny* zjišťované na základě různých fyzikálních principů. [6]

a) Metody založené na fyzikálním principu:

Tvrdoměrné metody - jedná se o měření tvrdosti povrchu daného materiálu. Tvrdost materiálu se stanovuje různými metodami, mezi kterými neexistuje vzájemný vztah mezi jednotlivými hodnotami tvrdosti. U většiny metod existují tzv. **kalibrační vztahy**, založené na korelačních vztazích mezi tvrdostí materiálu a jeho pevností. Tyto metody členíme na:

- *vrypové;*
- *vtiskové;*
- *vnikací;*
- *odrazové.* [14]

Elektroakustické metody - často také nazývané jako **elektrodynamické** jsou založeny na snímání a vyhodnocování účinků mechanického vlnění, které je vyvolávané ve zkoušeném materiálu mechanickým impulsem. Výhodou těchto metod je možnost několikanásobného měření se získáním spolehlivějších hodnot měřených veličin ve stejném zkušebním místě konstrukce. Nespornou výhodou těchto metod je také možnost sledování změn měřených veličin v závislosti na čase (degradace hmoty), technologii (přísady a příměsi) a prostředí (vlhkost, agresivita). Mezi metody tohoto typu řadíme: [2, 6]

- *ultrazvukovou impulsovou metodu* - (vnitřní nehomogenity betonu a jeho kvalita);
- *rezonanční metodu* - (dynamické moduly pružnosti);
- *metodu tlumeného rázu* - (únosnost, tuhost vozovek a podloží);
- *aktivní metodu akustické emise* - (rozvoj vnitřních trhlin v materiálu).
- *vibrační metodu příčného kmitání* - (dynamické moduly pružnosti u velkých prvků);
- *metodu fázových rychlostí* - (dynamické charakteristiky vozovek);
- *metodu mechanické impedance* - (moduly pružnosti u vazkopružných asfaltobetonových vozovek). [1, 9]

Elektromagnetické metody - princip těchto metod spočívá na elektromagnetických vlastnostech zkoumaných materiálů. Zde řadíme:

- *elektromagnetické indikátory* - (kontrola polohy a průměru výztuže);
- *mikrovlnné* - (měření vlhkosti materiálu);
- *indukční* - (měření přetvoření vlhkosti nebo tloušťky materiálu). [6]

Metoda radaru - metoda georadaru (GPR – Ground Penetrating Radar) funguje na principu vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů o frekvenci stovek MHz až jednotek GHz do zkoumaného prostředí.

- *georadar* - (zjišťování polohy výztuže, detekce nekovových materiálů, vad a poruch) [3]

Elektrické metody - využívají elektrický odpor, nebo jiné elektrické vlastnosti měřeného materiálu a patří zde,

- *kapacitní metody* - (měření vlhkosti);
- *odporové metody* - (měření vlhkosti, teploty a deformací);
- *polovodičové metody* - (měření teplot). [6]

Radiační metody - tyto metody jsou založeny na specifických vlastnostech ionizujícího záření, které je rozptylováno či absorbováno v měřeném prostředí.

- *radiografické metody* - ověření polohy výztuže v ŽB;
- *radiometrické metody* - stanovení objemové hmotnosti a vlhkosti;
- *měření radonu* - měření koncentrace radonu v zeminách a obytných budovách. [1]

b) Metody dle měření fyzikální veličiny, na základě různých fyzikálních principů:

Jedná se o metody, které využívají pro změření požadované veličiny jiných fyzikálních veličin. Např. při využití polovodičového tenzometru pro stanovení deformace při zatěžování tělesa, dochází k mechanickému namáhání jeho krystalické mřížky, které výrazně ovlivňuje měrný odpor tenzometru a na tomto základě je pak možné stanovit délkovou změnu materiálů při určitém zatížení. [28]

Tenzometrické metody - slouží k měření minimálních délkových změn za využití Hookova zákona, který definuje vztah mezi napětím, modulem pružnosti a poměrnou deformací ve směru působení napětí při jednoosé napjatosti. Stanovení hodnoty poměrné deformace je možné za pomoci různých fyzikálních principů, které se obecně nazývají tenzometrické metody. Mezi tyto metody patří:

- *mechanické metody;*
- *strunové;*
- *odporové;*
- *optické;*
- *kapacitní;*
- *bezdotykové;*
- *indukčnostní.* [9]

Trvanlivostní metody - jedná se o velice významné zkoušky popisující, jak všechny vlivy okolního prostředí působí na stavební konstrukci. Mezi tyto zkoušky patří:

- *odolnost betonu proti působení vody a rozmrazovacích látek;*
- *mrazuvzdornost betonu;*
- *nasákavost stavebních materiálů jako ukazatel otevřené pórovitosti;*
- *vzlínavost pro stanovení ukazatele schopnosti dopravovat vodu v pórové struktuře staviva;*
- *sorbční vlastnosti – vysychavost a navlhavost.* [6]

4.2. Semidestruktivní metody

Jedná se o zkušební metody, kdy zásah do konstrukce je velmi malý. Například při provádění vývrtů nebo prováděním odtrhových zkoušek, nesmíme narušit stabilitu a statickou funkčnost prvků konstrukce. Mezi zmíněné metody řadíme: [12]

- *jádrové vývrty* - za pomoci jádrového vývrtu jsme schopni stanovit a rozeznat období vzniku trhliny a její charakter porušení, jádrový vývrt také slouží jako zkušební těleso ke stanovení pevnosti betonu nebo zdiva v tlaku, nebo pro ověření hloubky karbonatace;
- *odtrhové zkoušky* - slouží ke stanovení přídržnosti povrchových vrstev na nosném podkladu (omítky, nátěry) nebo k zjištění pevnosti v tahu povrchových i podpovrchových vrstev betonu v konstrukci;
- *vstřelovací metody* - stanovení pevnosti betonu na základě hloubky vstřeleného hřebu;
- *vrtací metody* - kombinace otáčivého pohybu s údery vrtáku při stanovení pevnosti zdiva, nebo malty ve vodorovných spárách. [12]

4.3. Destruktivní metody

Destruktivní zkoušky (např. sekané sondy) se provádí v případě, kdy nedestruktivní metody nevedou k požadovanému cíli, nebo pokud je žádoucí přesnější stanovení hledaných charakteristik. Slouží nám také k zpřesnění výsledků nedestruktivního nebo semidestruktivního zkoušení vlastností, které mohou vykazovat určité nepřesnosti. Velice účelná je kombinace obou těchto metod, jelikož za pomoci destruktivní metody je možno provést zpřesnění kalibračních vztahů právě metod nedestruktivních. [19]

5. Diagnostika železobetonových konstrukcí

Při diagnostice ŽB konstrukcí se můžeme setkat s objekty o různém stáří. Mohou to být jak konstrukce nové, u kterých vznikla jakákoliv pochybnost o kvalitě provedení, tak o konstrukce vybudované před dvaceti, padesáti, někdy dokonce více než sto lety. Z tohoto důvodu je velice důležité si uvědomit k jakým pokrokům v užívání ŽB za tuto dobu ve stavebnictví došlo. Hlavní rozdíly jsou ve způsobu návrhu (dle stupňů bezpečnosti, dovolených namáhání, mezních stavů), ale také ve vlastnostech betonu (jemnost mletí a granulometrie cementu, frakce a kvalita kameniva, absence chemických přísad a příměsí) i v použité ocelové výztuži. [2]

Jak je v dnešní době všeobecně známo, mezi nejpopulárnější stavební materiály současnosti patří beton (tlakové namáhání) a železobeton (tahové, ohybové, smykové namáhání). Životnost staveb z těchto materiálů je ovlivňována řadou faktorů. Těmi jsou např. uložení ocelové výztuže, způsob ukládání čerstvé betonové směsi, klimatické podmínky v době zrání betonu, kvalifikace pracovníků provádějících realizaci staveb apod. Za účelem prodloužení životnosti a kontroly kvality provedení stavebních konstrukcí je zapotřebí právě diagnostiky. [6]

5.1. Zkoušené vlastnosti železobetonových konstrukcí

U diagnostiky ŽB konstrukcí rozlišujeme zkoušené vlastnosti betonu, ocelové výztuže ale také se zaměřujeme na vlastnosti vad a poruch.

a) ověřované vlastnosti betonu:

- pevnost;
- objemová hmotnost;
- modul pružnosti;
- stejnorodost;
- vlhkost;
- vlastnosti povrchových vrstev;
- chemické vlastnosti (míra degradace);

b) ověřované vlastnosti ocelové výztuže:

- množství výztuže;
- krytí výztuže;
- průměr;
- rozsah koroze.

c) vady a poruchy:

- přítomnost (trhliny, vzduchové kaverny, stěrková hnízda);
- rozsah. [6]

5.2. Metody pro vyšetřování ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích

V případě nedochování projektové dokumentace hodnocené konstrukce je velice důležité zjistit polohy, profily, množství a umístění ocelové výztuže vyšetřované konstrukce. Stanovení těchto informací je velice důležité jak z hlediska minimalizace rizika porušení výztuže při provádění diagnostice, tak při následném statickém posudku existující konstrukce. Využití metod za účelem splnění výše zmíněných cílů je důležité nejen z hlediska hodnocení existujících konstrukcí, ale také pro kontrolu kvality nově vybudovaných stavebních konstrukcí. K dosažení těchto záměrů máme v dnešní době k dispozici řadu diagnostických metod, které však mají své limity a omezení. [6]

5.2.1. Destruktivní metoda

Tato metoda je velice častým způsobem při využití minimálního vybavení k odstranění krycí vrstvy ocelové výztuže, čímž dochází k povrchovému poškození zkoumané konstrukce. Jedním ze zástupců je sekaná sonda (viz obr. 1), která u některých konstrukcí vede k větším zásahům než jen povrchovým a to v případě, kdy je výztuž uložena ve větší hloubce od zkoumaného povrchu, nebo se jedná o složitěji vyztužený prvek. Právě v tomto případě dochází k omezení této metody, které vede k nekompletnosti výsledků u ověřovaných výztuží. [21]



Obrázek 1: Sekaná sonda ŽB průvlaku [33]

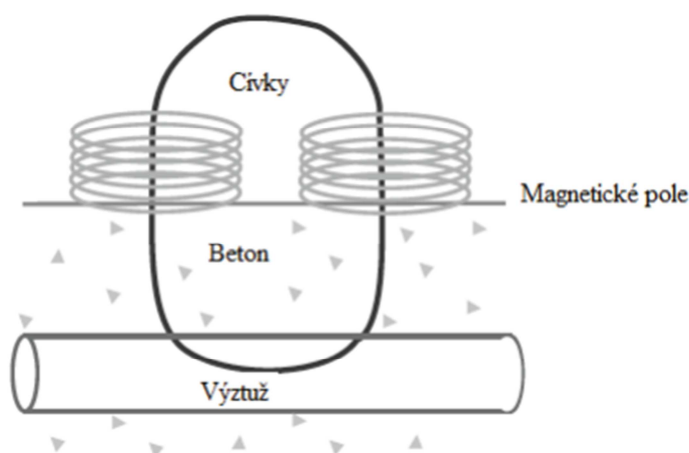
Destruktivní metoda má však i pozitivní charakter a tím je její kombinace s nedestruktivními, nebo semidestruktivními metodami, kdy můžeme provádět zpřesnění všeobecných kalibračních vztahů právě metod nedestruktivních. Dalším kladným faktorem je využití těchto metod při zkoumání ocelové výztuže v ŽB konstrukcích a to za účelem zajištění potřebných parametrů pro následné kalibrace a úpravy vstupních dat pořízených přístroji od výrobce Hilti např. PS 1000 X -Scan, nebo PS 200 Ferroscan. [19]

5.2.2. Elektromagnetické indikátory

Metoda elektromagnetických indikátorů je vhodná pro prvotní orientační informaci o vlastnostech zkoumané konstrukce. Předností této metody je rychlost a jednoduchost při ověřování umístění a množství výztuže ve stavebních konstrukcích. Princip metody je založen na využití feromagnetického jevu nebo vířivých proudů, které způsobují změnu magnetického pole sondy při jejím přiblížení k ověřované výztuži. Vířivé proudy vznikají ve všech vodivých tělesech a způsobují změnu charakteristik elektromagnetického pole měřicí sondy přístroje při jejím přiblížení k ocelové výztuži. Feromagnetický jev je využíván spíše u starších typů přístrojů. [7]

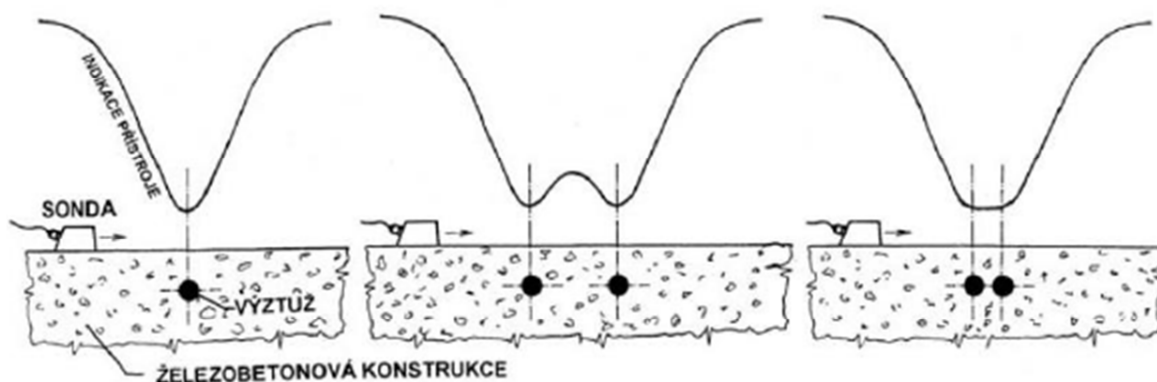
Konstrukce měřících zařízení využívající elektromagnetického principu je převážně tvořena dvěma částmi: sondou a přístrojem s elektronickými obvody navzájem propojené kabelem. U některých typů zařízení je měřicí sonda již zabudovaná v konstrukci přístroje. Tyto obvody navzájem generují jak signál pro buzení sondy, tak vyhodnocují přijímaný signál. Sondy mohou obsahovat jednu nebo více cívek buzených časově

proměnným elektrickým proudem, které generují časově proměnné primární magnetické pole pronikající ke kovovému (hledanému) cíli. To je kovovým materiálem deformováno (modifikováno) a vytváří tak sekundární elektromagnetické pole působící na přijímací cívku sondy a indikuje v ní elektrické napětí. Princip elektromagnetické metody je znázorněn na obrázku 2. [1]



Obrázek 2: Princip metody elektromagnetických indikátorů [24]

Výhodou těchto zařízení je rychlost a jednoduchost při provádění kontroly polohy či průměru výztuže. Jak je uvedeno na obrázku 3, nevýhoda těchto přístrojů nastává v případě hustého vyztužení (malá osová vzdálenost), nebo vyztuží v několika rovnoběžných vrstvách nad sebou. V těchto případech elektromagnetická metoda zcela selhává. [1]



Obrázek 3: Schéma zobrazující omezení elektromagnetické metody [1]

5.2.3. Metoda georadaru

Princip georadarové (viz obr 4) metody je založen na opakovaném vysílání **vysokofrekvenčního elektromagnetického impulsu**. Tento impuls je vysílací anténou šířen zkoumaným prostředím, kde v případě změny elektromagnetických vlastností tohoto prostředí dojde k částečnému odrazu vysílané energie, která je registrovaná přijímací anténou. Jako primární výstup měření je časový řez přepočítávající se na hloubkový řez pro nemagnetické prostředí dle zjednodušeného vztahu: [17]

$$h = \frac{c \cdot t}{2\sqrt{(\epsilon_r)}}$$

(1)

kde:

h – tloušťka měřené vrstvy [m]

c – rychlost světla ve vakuu ($2,997 \cdot 10^8$ m/s)

t – čas příchodu odražené části energie impulsu [ns]

ϵ_r – relativní permitivita prostředí

Rychlost šíření elektromagnetického vlnění je nepřímo úměrná relativní permitivitě a je daná vztahem: [17]

$$v = \frac{c}{\sqrt{(\epsilon_r)}}$$

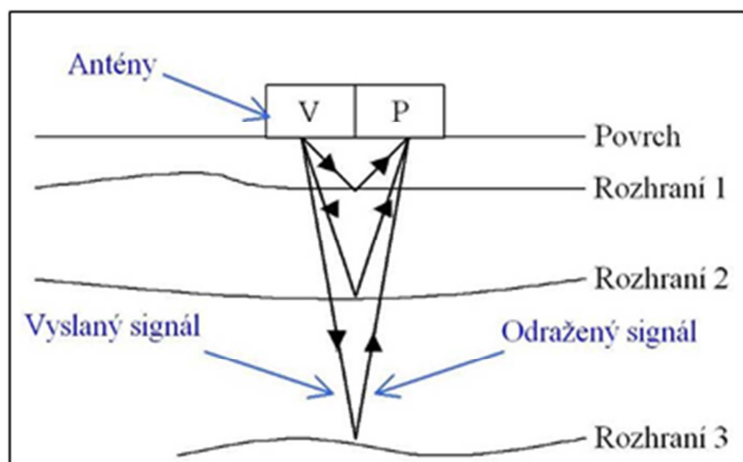
(2)

kde:

v – rychlost šíření elektromagnetického vlnění

c – rychlost světla ve vakuu ($2,997 \cdot 10^8$ m/s)

ϵ_r – relativní permitivita prostředí



Obrázek 4: Základní princip metody [30]

Rychlost šíření elektromagnetického vlnění v prostředí lze stavit několika způsoby:

- za použití tabelární hodnoty vycházející z relativní permitivity prostředí, příklady hodnot pro vybrané materiály jsou uvedeny v tabulce 1;
- kalibračním měřením, kdy se rychlost elektromagnetického signálu jednotlivých vrstev vypočte na základě zjištěných tloušťek, např. z vývrtů v referenčních bodech;
- metodou CMP (Common Mid-Point method) – jedná se o metodu společného reflexního bodu a je založena na vzdalování vysílače a přijímače z jednoho bodu;
- metodou WARR (Wide Angled Refleciton Refraction Analysis) – metoda využívající vícero reflexních bodů, jedná se o obdobu metody CMP, kdy se vzdaluje pouze přijímač;
- analýzou tvaru hyperboly v radargramech reprezentující výztuž – využívá se jako orientační vyhodnocení, např. při stanovení polohy kluzných trnů a kotev ve vozovkách s cementobetonovým krytem. [8]

Stanovená rychlost šíření EM signálu jednotlivými vrstvami zkoumané konstrukce, která se u jednotlivých materiálů liší, se poté převádí na tloušťku (hloubku). Jelikož má stanovená rychlost zásadní vliv na přesnost této metody, je její správné určení velmi důležité.

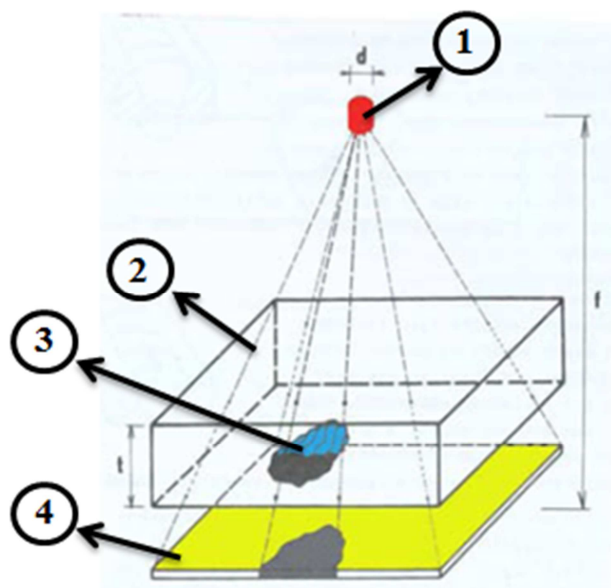
Tabulka 1: Relativní permitivita prostředí a rychlost šíření EM signálu [31]

Silniční materiál	Rychlost [mm/ns]	Relativní permitivita
vzduch	299	1
asfalt	90 - 160	4 - 10
beton	100 - 130	5 - 9
hydraulicky stmelené vrstvy	100 - 120	6 - 9
nestmelené vrstvy	70 - 120	6 - 18
voda	33	81

Intenzita EM signálu může být ovlivněna nebo může dojít k úplnému útlumu signálu při průchodu různými druhy materiálů zkoumané konstrukce (objektu) z důvodu výskytu vodivých materiálů, zvýšené vlhkosti nebo výskytu volných iontů z roztoků. Ovlivnění signálu může být také způsobeno díky jeho odrazům, ohybům a lomům, ke kterým dochází ve zvýšené míře při pronikání signálu do nehomogenního a různorodého prostředí. [8]

5.2.4. Radiografická metoda

Princip metody je založený na specifických vlastnostech ionizujícího záření, které je rozptylováno a absorbováno prostředím. Zeslabení záření je závislé od tloušťky a objemové hmotnosti daného prostředí, kterým právě prochází. To znamená, že v místě ocelové výztuže bude toto zeslabení na rentgenových snímcích výrazněji vyšší, nežli u betonu. Prošlé záření bývá většinou zaznamenáváno na radiografický film o rozměrech 0,3 x 0,4 m. Kontrola prozařováním je v principu zobrazovací technika založená na principu centrální projekce, při které je zdroj záření totožný se středem prozařování (viz obr. 5).



Obrázek 5: Princip centrální projekce [6]

(1 - zdroj záření (gama zářič); 2 – prozařovaná část konstrukce; 3 – ocelová výztuž;
4 – radiografický film)

U průzkumu ŽB konstrukcí obecně platí, že je výhodné volit gamazářič s velkou energií, s velkým poločasem rozpadu a velkou aktivitou. Tyto požadované vlastnosti má právě radioaktivní kobalt $\text{Co } 60$ z ochuzeného uranu o objemové hmotnosti ($\rho = 19\,000 \text{ kg/m}^3$), který umožňuje prozařovat ŽB konstrukci až do tloušťky 500 mm. [1]

Výhodou využití gamazářičů je absolutní nezávislost na zdrojích energie a jejich mobilnost při práci v terénu. Tato metoda má samozřejmě také řadu omezení: časová náročnost, složitost při měření a vyhodnocování. Vzhledem ke škodlivosti ionizujícího záření na lidský organismus je nutné z důvodu ochrany místo prozařování důkladně zabezpečit. [1]

Ochrana před ionizujícím zářením je zabezpečena jednak dodržáním bezpečné vzdálenosti od zářiče (10 metrů a více), zkrácením doby záření, kdy se zmenšuje kumulovaná dávka, nebo stíněním, které bývá provedeno z materiálů o velkých objemových hmotnostech, např. olovo nebo železo. [32]

6. Vybraná přístrojová zařízení pro experimentální část

Zařízení, která jsou uvedena v kapitolách níže, byla vybrána za účelem detekce a hloubky uložení jednak ocelové výztuže, ale také nekovových materiálů vyskytujících se v ŽB konstrukcích. Vybraná zařízení budou sloužit k vzájemnému porovnání jejich výsledků získaných při měření na různých ŽB objektech a také budou porovnána dle využitelnosti pro danou aplikaci např. při stavebně technických průzkumech reálných stavebních konstrukcí.

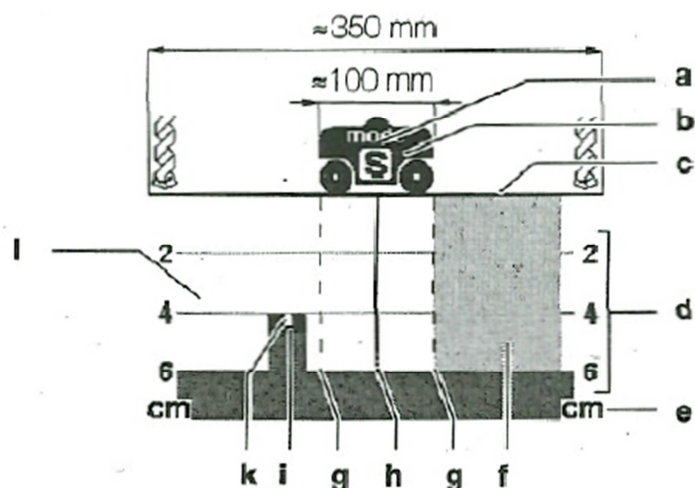
6.1. Bosch D-Tect 100

Slouží k lokalizaci železných i neželezných kovů, elektrického vedení, plastu ale také dřeva ve stavebních konstrukcích při použití různých stavebních materiálů (beton, cihla, dřevo, plynosilikát). Přístroj (viz obr. 6) pro detekci těchto předmětů, který využívá *vířivých proudů* je schopen provádět měření přes povrchové úpravy, jako jsou omítky, dlažby, parkety i koberec.



Obrázek 6: Bosch D-Tect 100 [22]

Měření tímto přístrojem je velice snadné a to vzhledem k jeho poměrně nízké hmotnosti a efektnímu madlu, kterým je přístroj lehce veden po zkoumaném povrchu. Tělo přístroje je vybaveno kolečky zaznamenávající vzdálenost ujeté dráhy. Naměřené hodnoty jako je druh nalezeného materiálu, hloubka překrytí betonem, osa s ujetou dráhou od počátečního bodu a druh měřicího režimu, jsou uživateli zobrazovány na displeji (viz obr. 7).



Obrázek 7: Detail displeje se záznamem měření [22]

(**a** – druh měřicího režimu; **b** – průřez přístrojem; **c** – povrch zkoumaného objektu;
d – stupnice hloubky uložení nalezeného předmětu; **e** – měrná jednotka hloubky stupnice;
f – neprověřená oblast zkoumaného objektu; **g** – vnější hrana přístroje; **h** – osa přístroje;
i – střed nalezeného předmětu; **k** – povrch nalezeného předmětu; **l** – prozkoumaná oblast)

Následuje technická specifikace uvedená výrobcem zařízení: [22]

- maximální hloubka detekce: 100 mm;
- přesnost indikace hloubky: ± 5 mm;
- přesnost lokalizace objektu: ± 5 mm;
- minimální vzdálenost sousedních objektů: 40 mm.

6.1.1. Měřicí režimy

- **režim S** – standardní nastavení zobrazující všechny druhy objektů;
- **režim 1** – měření všech druhů předmětů včetně dutin v homogenních materiálech (např. beton);
- **režim 2** – zkoumání všech druhů objektů ve vrstevnatých konstrukcích (lehké příčky, násobné podlahy apod.). [22]

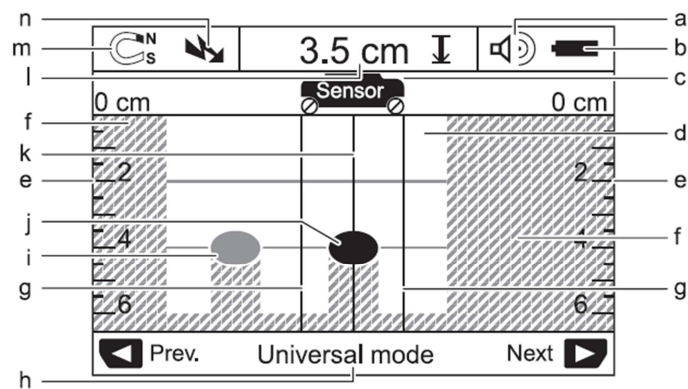
6.1.2. Metodika měření

Postup metodiky měření je sestaven na základě vlastních zkušeností získaných v průběhu praktických měření.

- výběr vhodného režimu z nabídky dle záměru použití;
- měření je prováděno pohybem přístroje při jeho dostatečném přitlaku na zkoumaný povrch nejlépe v přímém směru (linii);
- v průběhu měření je na displeji zobrazen měřicí režim a stupnice s rozsahem měřené hloubky;
- v případě detekce objektu se na displeji zobrazí ilustrační obrázek představující nalezený předmět v konstrukci včetně jeho hloubky uložení od zkoumaného povrchu;
- po opětovném pohybu přístrojem nad nalezený předmět je možno za pomoci rysky na přístroji polohu detekce vyznačit na povrch konstrukce;
- výstupem měření je pozice a přibližná hloubka uložení nalezeného předmětu.

6.2. Bosch D-Tect 150

Je modernizovaným nástupcem přístroje D-Tect 100. Rozdíl mezi těmito přístroji je v pokročilejším způsobu měření (*princip radaru*) a zobrazení naměřených dat (viz obr. 8). D-Tect 150 uvedený na obrázku 9 je určen pro vyhledávání zabudovaných objektů ve stěnách, střepech ale také v podlahách. Mezi jeho přednosti patří jak detekce kovových materiálů (ocel, měď), tak materiálů nekovových jako je, plast, dřevo a elektrické vedení (nízké i vysoké).



Obrázek 8: Pracovní rozhraní displeje při záznamu měření [23]

(**a** – ukazatel signálního tónu; **b** – ukazatel baterie; **c** – ukazatel polohy čidla;
d – ověřovaná část zkoumaného objektu; **e** – měrná stupnice hloubky uložení předmětu;
f – neověřená oblast objektu; **g** – vnější hrany přístroje vzhledem k poloze předmětu;
h – druh měřicího režimu; **i** – nalezený předmět mimo oblast sondy; **j** – nalezený předmět
v oblasti sondy; **k** – střed přístroje; **l** – ukazatel hloubky uložení předmětu; **m** – ukazatel
druhu nalezeného materiálu; **n** – ukazatel elektrického vedení)

Technická specifikace udaná výrobcem: [23]

- maximální hloubka detekce: 150 mm;
- přesnost indikace hloubky a detekce objektu: ± 5 mm;
- maximální hloubka detekce elektrického vedení: 60 mm. [23]



Obrázek 9: Přístroj Bosch D-Tect 150 [23]

6.2.1. Měřicí režimy

- **univerzální** - univerzální režim pro zobrazení všech druhů materiálů ve zdivu nebo betonu při maximální hloubce detekce 60 mm;
- **beton** - vhodný speciálně pro měření ocelové výztuže v železobetonu do maximální hloubky 150 mm;
- **podlahové vytápění** - zobrazení kovových trubek, nebo kovem povrstvených plastových trubek naplněných vodou, nalezne také elektrické vedení, maximální hloubka detekce 80 mm;
- **suchá stavba** - vyhledávání dřevěného i kovového materiálu, ale také elektrického vedení ve stěnách stavěných za sucha (dřevostavba, sádkartonové příčky atd.), maximální hloubka indikace 80 mm;
- **duté cihly, bloky** - měření kovových materiálů a elektrického vedení ve stěnách s mnoha vzduchovými komorami. [23]

6.2.2. Metodika měření

Uvedený postup měření u D-Tect 150 je stejný, jako je uvedeno u D-Tect 100. Jediné rozdíly mezi těmito přístroji jsou při interpretaci výsledků:

- detekce objektu je doprovázena zvukovou i světelnou signalizací, a na displeji se zobrazí druh nalezeného materiálu (kovový, nekovový, dřevo atd.);
- součástí detekce je také možno zobrazení metru (vodorovná osa se stupnicí), zobrazující polohu nalezeného předmětu od počátečního bodu měření;
- po obdržení korektních výsledků měření, přístrojem pohybujeme opakovaně a pomaleji nad nalezeným objektem za účelem získání přesnější hodnoty krytí a jeho polohy od počátečního bodu;
- výsledkem měření je poloha a přibližná hloubka uložení nalezeného předmětu.

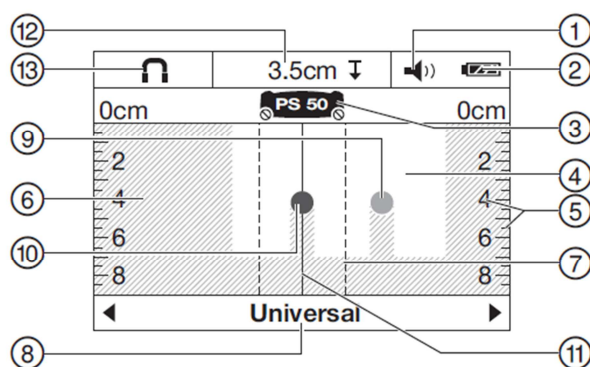
6.3. Hilti PS 50 Multidetektor

Jedná se o všestranný detektor (viz obr. 10) využívající princip *radaru*, který je určený pro rychlou identifikaci objektů ve stavebních konstrukcích jako jsou železné (armovací výztuž) i neželezné (měď, hliník) kovy, ale také dřevo, plastové potrubí a vedení napěťových kabelů. Vzhledem k jeho hmotnosti a rozměrům konstrukce se jedná o ařízení, se kterým je práce na stavbě velice snadná.



Obrázek 10: : Hilti PS 50 Multidetektor [25]

Vestavěný displej (viz obr. 11) slouží pro snadné zobrazení lokalizace předmětů, jejich přibližné hloubky uložení a druhu materiálů.



Obrázek 11: Detail displeje zařízení [25]

(1 – ukazatel zvukového signálu; 2 – ukazatel stavu baterie; 3 – ukazatel polohy zařízení;
4 – ověřená oblast zkoumaného objektu; 5 – stupnice zobrazující hloubky uložení
nalezeného předmětu; 6 – neověřená oblast; 7 – vnější hrany přístroje vzhledem k poloze
předmětu; 8 – ukazatel aktivního měřicího režimu; 9 – nalezený objekt mimo oblast sondy;
10 – nalezený objekt v oblasti čidla; 11 – středová čára zařízení; 12 – ukazatel přibližné
hloubky uložení nalezeného předmětu; 13 – ukazatel druhu materiálu nalezeného
předmětu)

Technické specifikace udané výrobcem: [25]

- maximální detekční hloubka pro lokalizaci předmětu: 150 mm;
- přesnost indikace hloubky: ± 10 mm;
- přesnost lokalizace: ± 5 mm;
- minimální vzdálenost mezi sousedními objekty: 40 mm;
- maximální detekční hloubka pro živé vodiče: 60 mm.

6.3.1. Režimy měření

- **univerzální** - režim vhodný pro detekci kovových, plastových objektů i elektrického vedení, při použití u plného zdiva nebo betonu, maximální hloubka detekce činí 80 mm;
- **beton** - vhodný speciálně pro použití u suchého betonu, zobrazují se jak kovové tak nekovové objekty i elektrická vedení do maximální hloubky 150 mm;
- **čerstvý beton** - určený speciálně pro použití u čerstvého betonu s větším obsahem vlhkosti, zobrazení obdobné jako u režimu beton při maximální hloubce detekce 60 mm;
- **podlahové topení** - režim určený speciálně pro detekci kovových trubek a plastových trubek v kombinaci s kovem naplněných vodou i elektrického vedení, které jsou položeny v potěru do maximální hloubky měření 80 mm;
- **deskové materiály** - vhodný pro detekci dřevěných trámů, kovových stojanů a plných vodovodních trubek včetně elektrického vedení v montovaných stěnách suchých staveb s maximální hloubkou měření 80 mm;
- **duté cihly** - určený výhradně pro měření zdiva s velkým množstvím dutin pro detekci kovových předmětů, plastových trubek naplněných vodou včetně detekce elektrického vedení pod napětím s maximální hloubkou detekce 80 mm;

- **signální náhled** - režim vhodný pro všechny materiály, za použití toho režimu lze přesně detekovat předměty, které leží v těsné blízkosti, a na základě průběhu signálu lze lépe odhadnout komplikované struktury materiálu s maximální hloubkou detekce do 150 mm. [25]

6.3.2. Metodika měření

Uvedený postup opět vychází z vlastních zkušeností získaných během experimentálních měření.

- výběr vhodného režimu dle druhu zkoumané konstrukce;
- přiložením zařízení na zkoumanou konstrukci a jeho pohybem nejlépe v jednom přímém směru (linii) se na LCD displeji zobrazují nalezené objekty;
- detekce objektu je doprovázena světelnou a zvukovou signalizací;
- na displeji je krom uvedeného aktivního režimu zobrazená také indikace kovového nebo nekovového materiálu a v případě elektrického vedení se zde objeví symbol vedení pod napětím;
- pro vytyčení nalezeného objektu se zařízením pohybuje zpět ve směru měření a při jeho zobrazení ve středové přímce (střed zařízení) se provede za pomoci zářezů v přístroji označení jeho polohy na zkoumaný povrch;
- součástí zobrazení je také svislá stupnice zobrazující rozsah měření, kdy stanovená hloubka detekovaného objektu přístrojem je zobrazena v horní části displeje;
- výsledkem měření je tedy stanovena přibližná hloubka a pozice nalezených předmětů zkoumané objektu.

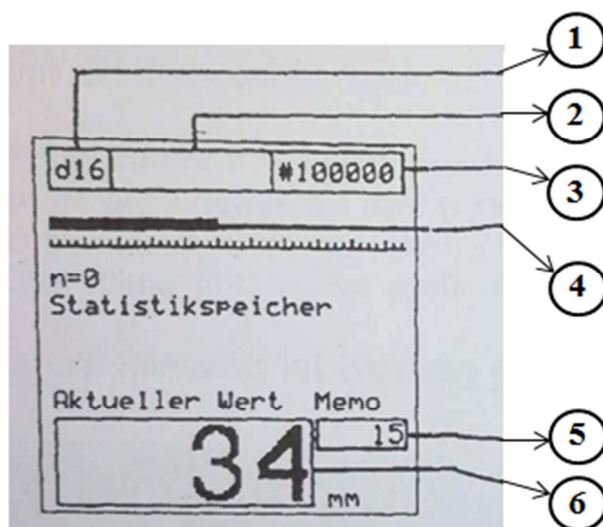
6.4. Profometr 4

Zařízení Profometr 4 (viz obr. 12) od výrobce Proceq má mnohaletou tradici a v dnešní době jsou na trhu k dispozici už i novější modely tohoto zařízení. Ale i přes to je v současnosti Profometr 4 vzhledem ke své jednoduchosti a přesnosti při kontrole výztuže v ŽB konstrukcích velice žádaným zařízením. [1]



Obrázek 12: Zařízení Profometr 4 od výrobce Proceq

Zařízení využívající k detekci **vířivých proudů**, nabízí uživateli za pomoci poměrně velkého grafického LCD displeje (viz obr. 13) velmi přehledný výběr všech funkcí přístroje. Jednou z nich je například nastavení průměru hledané výztuže pro přesnější kalibraci a dosažení tak přesnějších hodnot při ověřování krytí výztuže. K zařízení výrobce dodává jak bodovou, tak průměrovou sondu. [1]



Obrázek 13: Znázornění údajů na displeji zařízení [1]

- (1 – předvolený průměr hledané výztuže; 2 – mezní hodnota; číslo zkoumaného objektu;
 3 – číslo objektu; 4 - pohyblivý indikační sloupec znázorňující polohu sondy vůči
 ověřované výztuži; 5 – v paměti uložená nejmenší hodnota překrytí výztuže betonem;
 6 – aktuální vzdálenost sondy od výztuže)

6.4.1. Metodika měření

Uvedený postup v této kapitole vychází z vlastních zkušeností získaných při praktickém měření a z informací uvedených v použité literatuře.

Zjištění polohy a tloušťky krycí vrstvy výztuže:

- připojení vhodné měřicí sondy k přístroji;
- nastavení předpokládaného, nebo ověřeného průměru hledané výztuže;
- měřicí sondou se pohybuje po lici ověřované konstrukce do zaznění zvukového signálu;
- při zaznění zvukového signálu je sledován indikační sloupec na LCD displeji do zobrazení se maxima;
- poté se provádí přesné doměřování pohybem sondy směrem zpět;
- v místě, kde se opět na displeji zobrazí maximum v indikačním sloupci, je právě vzdálenost mezi rovnoběžnými osami výztuže a sondy nejmenší;
- v tomto místě je označena poloha výztuže na povrchu konstrukce;

- z displeje zařízení se opíše zaznamenaná a uložená hodnota překrytí výztuže betonem;
- výsledkem měření je tedy vytyčení polohy a ověření tzv. hodnoty krytí výztuže.

Zjištění průměru výztuže:

- postup při ověřování průměru výztuže je naprosto stejný, jako je popsáno výše s tím rozdílem, že před provedením měření se připojí k přístroji měřící průměrová sonda;
- výsledkem měření (odhadu) je průměr zabudované výztuže. [24]

6.5. Hilti PS 200 Ferroscan

Jedná se o zařízení založené na principu *elektromagnetické indukce*, které je řazeno mezi profesionální přístroje dostupné na dnešním trhu. Konstrukce skeneru opatřená odměřovacími kolečky je poměrně lehká a dobře padne do ruky. Velice dobrá rozlišovací citlivost tohoto přístroje je zabezpečena díky devíti cívkám budících stejnosměrný proud, které jsou umístěny v konstrukci přístroje. Avšak vzhledem k jeho rozměrům je využití určeno spíše pro větší plošné prvky.

Technická specifikace zařízení udaná výrobcem: [26]

- maximální detekční hloubka: 180 mm (při profilu výztuže 36 mm);
- stanovení velikosti krytí výztuže: 100 mm;
- přesnost lokalizace: ± 3 mm;
- přesnost stanovení hloubky: ± 1 mm;
- omezení při liniovém měření: 30 m;
- omezení při plošném měření: 9 scanů.

Základním vybavením zařízení je skener a přenosný adaptér PS 55 (viz obr. 14). Dalším dostupným komponentem je monitor PS 100, do kterého je možno přímo na stavbě bezdrátově naměřená data přenést a při 2D zobrazení je zpracovat. V případě, že zpracování dat není třeba provést in situ, výrobce k zařízení také dodává počítačový softwaru Hilti PROFIS Ferroscan, ve kterém je možné provést kompletní analýzu měření v PC mimo stavbu. [29]



Obrázek 14: Skener PS 200 Ferroskan a adaptér PS 55 [29]

6.5.1. Skenovací režimy

- *quickscan* - slouží k rychlému ověření polohy a krytí výztuže, při provedení záznamu zmáčknutím nahrávacího tlačítka (recorded) v tomto režimu je možno provést liniové scany (*quickscan recording*) s omezením interní paměti přístroje do délky 30 m;
- *imagescan* - jedná se o režim skenování plochy přesně definované skenovacím rastrem (600 x 600 mm, 1200 x 1200 mm);
- *blockscan* - režim umožňuje spojení až 3 x 3 imagescanů do jedné plochy dosahující maximálních rozměrů 3,6 x 3,6 m. [26]

6.5.2. Metodika skenování

Následující postup vychází z vlastních zkušeností, které byly získány při praktických měření za účelem splnění záměru experimentu.

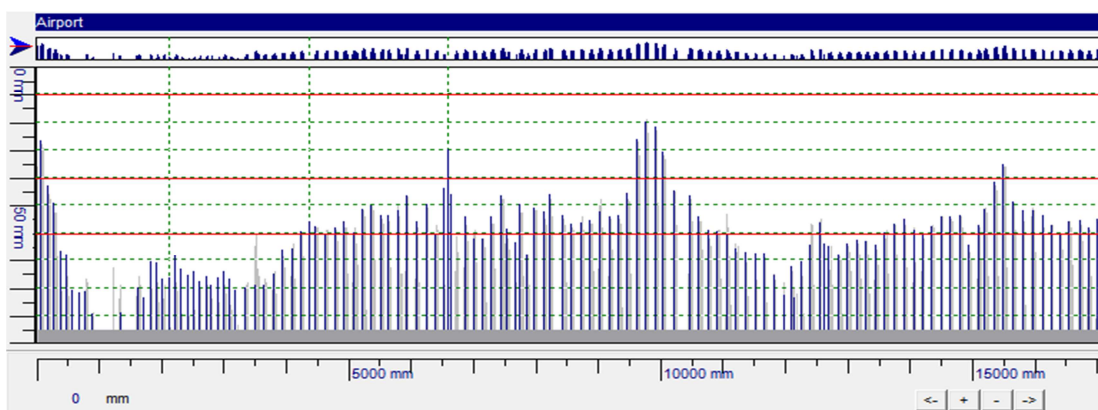
Liniové skenování režimem quickscan:

- skenerem je pohybováno po zkoumané konstrukci;
- při zaznění zvukového signálu doprovázeného světelnou signalizací se skener nachází v místě nejmenší vzdálenosti mezi rovnoběžnými osami výztuže a líce konstrukce;

- v místě zvukové signalizace se vytyčí poloha výztuže na zkoumaný povrch konstrukce a opíše se z displeje skeneru hodnota překrytí výztuže betonovou vrstvou;
- výstupem tohoto měření je vytyčení polohy všech výztuží ve zkoumané ploše konstrukce včetně uvedených hodnot krytí;

Liniové skenování režimem quickscans recording:

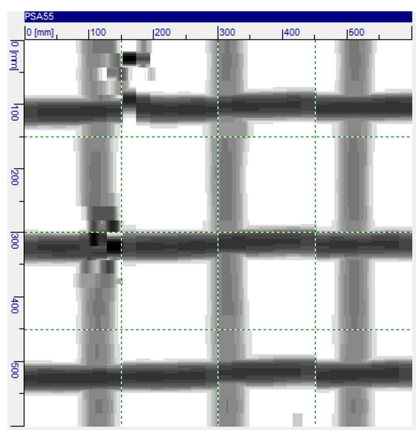
- v případě potřeby záznamu měření za účelem ověření přesné polohy a krytí výztuže se provede vytyčení počátečního a koncového bodu měřené linie na zkoumané konstrukci;
- v průběhu měření je třeba skener vést co nejpřesněji v předem vytyčené linii z důvodu eliminace zkreslení vzdáleností uložení jednotlivých výztuží v konstrukci;
- zaznamenaný liniový scan se za pomoci adaptéru přenese ze skeneru do PC a v softwaru Hilti PROFIS Ferroskan se provede jeho následná úprava týkající se přepočtu primárních dat;
- z takto získaných výsledků je možné provést statistickou analýzu dat jako je maximální a minimální hodnota, medián a směrodatná odchylka hodnot krytí výztuží;
- součástí analýzy je také možnost odměření polohy jednotlivých výztuží od počátečního bodu měření za pomoci vodorovné stupnice (viz obr. 15).



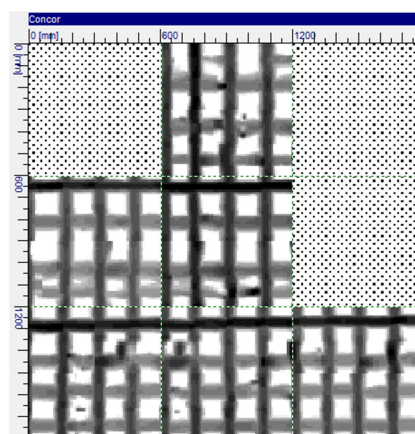
Obrázek 15: Detail záznamu liniového scanu [29]

Plošné skenování režimy imagescan a blockscan:

- umístění fólie skenovacího rastru v požadovaném místě konstrukce;
- počátek skenování je označen na rastru a směr pohybu je zobrazován na displeji skeneru;
- po naskenování celé plochy rastru se v případě režimu blockscan rastr dále přesune v ploše tak, aby se následující scan vždy překrýval v krajních bodech s předchozím;
- po ukončení skenování se naměřená data přenesou adaptérem do PC;
- v softwaru se na základě vloženého průměru výztuže a v případě potřeby tloušťky podkladní plochy provede přepočtení primárních dat (viz obr. 16 a 17);
- poté je možno ověřovat jak hloubky krycí vrstvy, tak přesné pozice výztuží zaznamenané během skenování
- výsledkem měření jsou grafické výstupy, které lze použít pro analýzu výsledků (poloha výztuže, hloubka uložení a průměr výztuže)



Obrázek 16: Záznam v režimu imagescan (600 x 600 mm) [29]



Obrázek 17: Detail blockscanu (1200 x 1200 mm) [29]

6.5.3. Korekce primárních dat

Korekce primárních dat se u tohoto zařízení provádí v PC softwaru Hilti PROFIS Ferroskan. Úprava se týká vložení známého průměru výztuže z projektové dokumentace, nebo ověřeného sekanou sondou. V případě použití podkladní plochy při nedostatečných rozměrech měřeného objektu, je z důvodu zabezpečení korektní hodnoty krytí zapotřebí vložit do softwaru před algoritmickým přepočtem také i její tloušťku. Po těchto úpravách jsou zabezpečena přesnější naměřená data pro jejich následnou analýzu.

6.6. Hilti PS 1000 X-Scan

Po uvedení zařízení PS 1000 X-Scan (viz obr. 18) od výrobce Hilti došlo k přelomu ve využívání principu *georadaru* při stavebně technických průzkumech. Zařízení (konstrukce zařízení a software) je přímo určeno pro diagnostiku ŽB konstrukcí, s předpokladem určení jak polohy ocelových výztuží, tak dalších případných nehomogenit v prvcích betonových konstrukcí. [21]



Obrázek 18: Zařízení PS 1000 X-Scan [29]

Velikost měřicí sondy umístěné na vozíku s kolečky, je od klasických georadarů relativně malá. Sonda je osazena trojicí antén o rozsahu frekvence 1 – 4,3 GHz a při střední frekvenci 2 GHz, které slouží jak pro dokonalé určení polohy výztuže tak i několik objektů ležících nad sebou.

Technická specifikace udaná výrobcem zařízení: [27]

- maximální hloubka detekce: 400 mm;
- přesnost lokalizace: ± 10 mm;
- přesnost určení hloubky: ± 10 mm;
- minimální vzdálenost mezi dvěma sousedními objekty: 40 mm;
- maximální délka liniového měření: 10 m;
- omezení plošného měření: na základě velikosti externího uložště.

6.6.1. Skenovací režimy

- **quickscan** - režim umožňující detekci a přímé označení poloh nalezených objektů v podlaze, zdi či stropu, jedná se o rychlé skenování poskytující pohled v řezu;
- **quickscan recording** - jedná se o režim quickscan využívající nahrávání měřených dat ve formě dlouhých liniových scanů, omezení délky jednoho záznamu je vzdáleností 10 m;
- **imagescan** - jedná se o režim umožňující skenování s vykreslením kompletního obrazu, sloužícího ke kompletní analýze naměřených dat, režim umožňuje informace o nalezených objektech v půdorysu i v řezu, výsledný plošný scan lze pro lepší přehlednost převést do 3D zobrazení. [27]

6.6.2. Metodika skenování

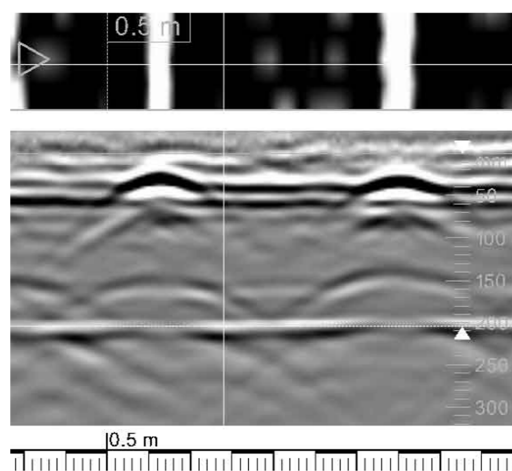
Postup metodiky měření uvedený níže byl sestaven na základě vlastních zkušeností při provádění praktických měření.

Liniové skenování v režimu quickscan:

- pohybem sondy po konstrukci nejlépe v jednom směru (v linii) se na displeji zařízení objevují naměřená primární data;
- zobrazuje se poloha i hloubka uložení objektů zabudovaných ve zkoumané konstrukci;
- pro vytyčení nalezených objektů se za pomoci výřezu v konstrukci přístroje provede označení polohy nalezených objektů na zkoumaný povrch;
- při zapnutí **EM sensoru** v tomto režimu je možné také indikovat elektrická vedení v konstrukci;
- v režimu quickscan je možnost přepnutí se do funkce **expert detection**, kdy jsou objekty v konstrukci zobrazovány až do maximální hloubky detekce a to 500 mm.

Liniové skenování v režimu quickscan recording:

- postup měření je stejný jako v režimu quickscan, rozdíl je pouze v možnosti provedení záznamu měření pro zachování naměřených dat (viz obr. 19);
- při tomto měření je vhodné si na zkoumaný povrch konstrukce vyznačit polohu měřené linie pro zachování co nejpřesnější polohy měření při pohybu sondy po povrchu;
- tímto způsobem tak eliminujeme chyby, které by mohly vzniknout při větších délkách měření nepřesným vedením měřicí sondy;
- naměřená a uložená primární data se přenesou do PC softwaru Hilti PROFIS PS 1000, kde se zkalibrují a provede se jejich výsledná analýza (viz kap. 6.6.3.).

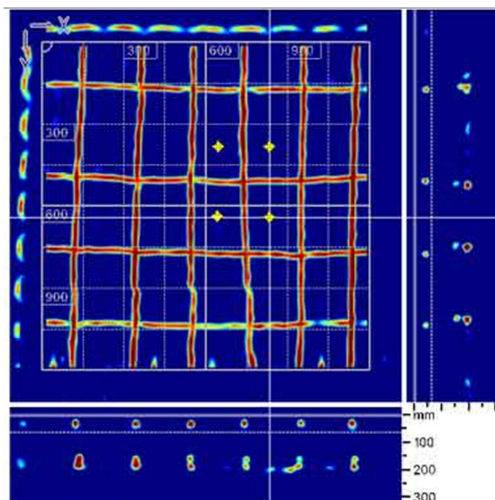


Obrázek 19: Úsek záznamu liniového scanu v režimu quickscan recording [27]

Plošné skenování v režimu imagescan:

- osazení fólie skenovacího rastru v místě zkoumané konstrukce;
- začátek skenování je definovaný rozměrem použitého rastru, v případě rastru 600 x 600 mm, se měřicí sonda musí přeložit o její celou šířku směrem vně od vyznačeného rastru;
- u použití rastru 1200 x 1200 mm se měřicí sonda pokládá tak, že výřez v konstrukci sondy (střed sondy) se překrývá s krajní přímkou vyznačeného rastru;
- tímto způsobem se provede skenování ve všech směrech rastru, směr skenování je možno sledovat také na zabudovaném LCD displeji;

- takto získaná data se opět přenesou do PC softwaru, kde je ve formě grafického výstupu (viz obr. 20) následně provedena výsledná analýza (viz kap. 6.6.3.).



Obrázek 20: Záznam plošného scanu v režimu imagescan [27]

6.6.3. Kalibrace primárních dat

Kalibrace se u tohoto zařízení provádí v PC softwaru a týká se úpravy naměřené hloubky krytí alespoň jednoho prvku nalezeného během skenování. V příčném řezu se označí střed tohoto prvku a do softwaru se vloží jeho skutečná hodnota krytí získaná z projektové dokumentace, nebo ověřená sekanou sondou.

V případě použití podkladní plochy při skenování objektu s nedostatečnými půdorysnými rozměry pro uložení fólie skenovacího rastru, je potřeba před úpravou primárních dat tloušťku a druh materiálu této plochy definovat v příslušném softwaru.

Po provedení těchto úprav je poté proveden algoritmický přepočten všech naskenovaných dat a ke stanovení tak přesnějších hodnot získaných skenováním, které mohou být následně podrobeny další analýze.

6.7. Georadarový vozík (GSSI-SIR30)

Jedná se o zařízení, kterým lze provádět akreditovanou zkoušku: „*Stanovení polohy kluzných trnů a kotev ve spárách cementobetonových krytů vozovek dvoukanálovým georadarem*“. Dále je zařízení akreditováno pro další dvě zkoušky a to stanovení horního krytí výztuže v betonové mostovce a pro stanovení tloušťky stmelených vrstev vozovky.

Toto zařízení bylo použito v experimentální části jako referenční při porovnání/ověření výsledků polohy kluzných trnů v příčné spáře cementobetonového krytu.

Zařízení, jímž bylo měření prováděno je tvořeno dvoukanálovým georadarem osazeným do vozíku (viz obr. 21), který umožňuje provádět nedestruktivní měření poloh kluzných trnů a kotev v zatvrdlém cementobetonovém (CB) krytu s následující uváděnou přesností:

- přesnost detekce v horizontálním směru (staničení výztuže):
 $\pm 8 \text{ mm}$ (pro délku ujeté vzdálenosti do 15 m);
- přesnost lokalizace ve vertikálním směru (hloubka uložení výztuže):
 $\pm 5 \text{ mm}$ (pro tloušťku CB krytu do 300 mm). [20]

Jelikož se jedná o průběžné měření dvěma anténami, je měření tímto zařízením urychleno a zpřesněno. Na základě umístění těchto antén je přesně stanovena poloha směrových vidlic, které udávají směr měření. Konstrukce vozíku je dále vybavena třetím kolečkem, které umožňuje přesnější vedení vozíku ve směru měření. Kolečko je navíc osazeno odměřovacím zařízením, které zaznamenává ujetou vzdálenost v horizontálním směru.

Kalibrace zařízení v horizontálním směru se provádí vždy před každým měření, která se týká ověření přesnosti snímače na 15 metrové vzdálenosti. Kalibrace ve vertikálním směru se provádí až po měření, kdy se primární data převádí z časového záznamu na hloubkový společně s jejich filtrací. Postup převodu je uveden v kapitole X. [20]



Obrázek 21: Georadarový vozík (GSSI-SIR30)

6.7.1. Metodika měření a zpracování dat

Postup metodiky uvedený níže byl čerpán z informací uvedených v *Metodice pro měření a hodnocení polohy kluzných trnů a kotev ve spárách cementobetonových krytů vozovek dvoukanálovým georadarem* splňující požadavky na správné uložení výztužných prvků dle ČSN 73 6123-1 a TKP 6. [18]

Postup měření je prováděn takto:

- provedení třech přejezdů vozíkem rovnoběžně s měřenou spárou;
- v rámci každého pojezdu je zaznamenávána ujetá vzdálenost a hloubka uložení kluzných trnů a kotev nalevo a napravo od spáry (ve stejné vzdálenosti od spáry);
- směr vedení vozíku je zabezpečen třemi vidlicemi určenými pro vedení zařízení v linii měřené spáry s osovou roztečí 175 mm nalevo a napravo od střední vidlice;
- prvotní záznam se poté zpracovává v programu, který je doporučován výrobcem řídící jednotky. [18]

6.7.2. Kalibrace georadaru (GSSI-SIR30)

Georadar podstoupil před získáním akreditace řadu srovnávacích měření na zkušebních úsecích CB krytů a letišť. Současně se také provádělo ověřování přesnosti výsledků měření poloh u více jak dvou tisíc kluzných trnů pomocí kalibrovaného ocelového měřítka a pásma na pracovních spárách. [20]

II. Experimentální část

Experimentální část diplomové práce je zaměřena na porovnání jednotlivých diagnostických metod vybraných přístrojových zařízení pro detekci polohy a hloubky uložení zabudovaných předmětů včetně ocelové výztuže v železobetonových objektech. Výstupem měření bylo srovnání a vyhodnocení naměřených hodnot jednotlivých zařízení na základě používaného principu měření, které vedlo k jejich doporučení pro dané využití např. při stavebně technických průzkumech stávajících konstrukcí, nebo pro další aplikace ve stavební praxi. Stanovení rozsahu koroze ocelové výztuže, nebo určení hloubky karbonatace nebylo součástí experimentální části.

7. Použitá přístrojová zařízení

Srovnávací měření na vybraných objektech byla prováděna za pomoci přístrojových zařízení, která jsou včetně použitých režimů uvedena v tabulce 2.

Tabulka 2: Vybraná přístrojová zařízení

Výrobce	Zařízení	Režim měření
Bosch	D-Tect 100	režim 1
	D-Tect 150	beton podlahové topení
Hilti	PS 50 Multidetektor	beton
		signální náhled
		podlahové topení
Proceq	Profometr 4	-
Hilti	PS 200 Ferrosan	imagescan
		blockscan
		quickscan recording
	PS 1000 X-Scan	imagescan quickscan recording
-	Georadar (GSSI-SIR30)	-

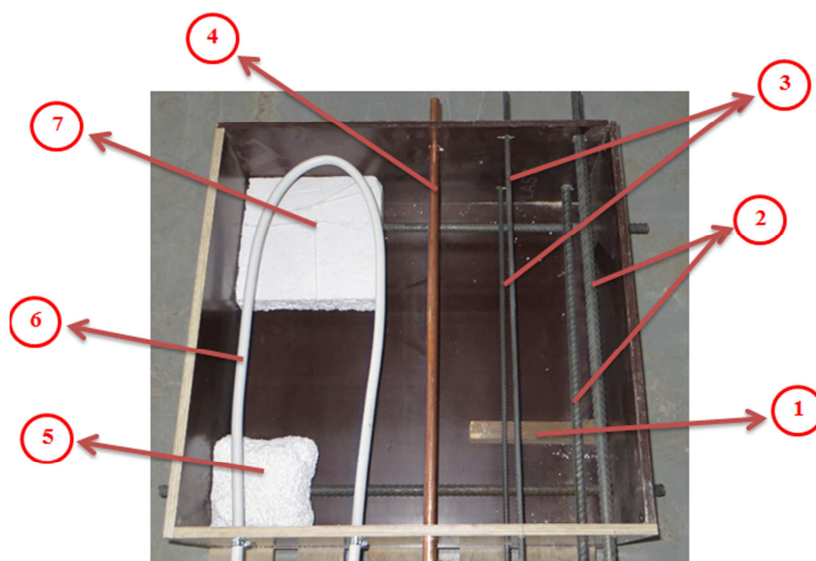
8. Zkoumané železobetonové objekty

Pro účely srovnávacích měření byly vybrány tyto železobetonové objekty:

- laboratorní cementobetonová deska;
- pozemní stavba – vybrané konstrukční prvky;
- silniční panely s částečnou náhradou kameniva struskou;
- cementobetonový (dále jen „CB“) kryt.

8.1. Laboratorní betonová deska

Laboratorní betonová deska byla vyrobena za účelem simulace reálné konstrukce a zhotovena v Laboratoři stavebních hmot, VŠB – TU Ostrava. Laboratorní deska byla zhotovena do bednění o rozměrech 800 x 800 mm. Do bednění byly uloženy následující prvky: měděná trubka simulující oběh otopné vody, plastové potrubí podlahového vytápění, betonářská výztuž, polystyrén a dřevěná lať. V modelu byl také za pomoci polystyrénu vytvořen dutý prostor, který byl následně po odbednění modelu odstraněn. Vzniklá vzduchová kaverna simuluje dutý prostor, který při betonáži může vzniknout v případě použití velkého zrna kameniva a malé osové vzdálenosti nosné výztuže. Simulační model včetně popisu použitých prvků je zobrazen na obrázku 22.



Obrázek 22: Simulační model s popisem prvků

(1 – dřevěná lať (35 x 60 x 250 mm); 2 – betonářská výztuž ϕ 20 mm; 3 – betonářská výztuž ϕ 10 mm; 4 – měděná trubka ϕ 22 mm; 5 – vzduchová kaverna (polystyrén); 6 – plastové potrubí podlahového vytápění ϕ 20 mm; 7 – polystyrén (300 x 300 x 30))

Při srovnávacím měření za účelem detekce a zjištění hloubky krycí vrstvy prvků zabudovaných do tohoto objektu byla vybrána tyto zařízení:

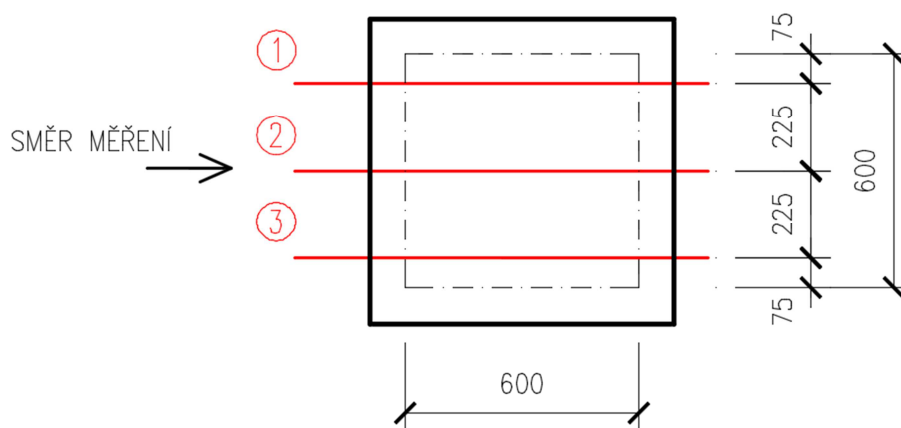
- Nedestruktivní metody
 - Zařízení na bázi elektromagnetické indukce:
 - Hilti: Ferrosan PS 200, Multidetektor PS 50;
 - Bosch: D-Tect 100, D-Tect 150;
 - Proceq: profometr 4.

- Zařízení na principu georadaru:
 - Hilti PS 1000 X-Scan.
- Destruktivní metoda
 - Ověření správnosti detekce prvků zařízením bylo provedeno destruktivně sekanou sondou.

8.1.1. Příprava modelu k provedení měření

K zajištění dostatečné simulace zabudovaných předmětů, to znamená podlahového topení a měděné trubky, bylo provedeno vyplnění těchto předmětů vodou. Po naplnění byly následně otevřené konce těchto prvků dostatečně ucpány, aby nedocházelo k úniku vody během měření. Tímto bylo dosaženo reálného stavu, v jakém se ve stavebních konstrukcích tyto prvky běžně nachází. Měření bylo provedeno v Laboratoři stavebních hmot, VŠB – TU Ostrava.

Dále byly na povrchu modelu vyznačeny tři měřicí linie, podél kterých byla měření pomocí jednotlivých přístrojových zařízení realizována. Přesné pozice měřících linií včetně směru měření jsou zobrazeny na obrázku 23.



Obrázek 23: Vytýčení měřících linií pro měření konkrétních míst (bodů)

Vzhledem k malým půdorysným rozměrům simulačního modelu oproti plošným rozměrům skenovacího rastru, který je zapotřebí při měření zařízením Hilti, bylo nutné připravit podkladní plochu vyrobenou z OSB desky o tloušťce 12 mm a plošném rozměru 1500 x 1500 mm (viz obr. č. 24).



Obrázek 24: Podkladní plocha se skenovacím rastrem 1200 x 1200 mm

8.1.2. Postup měření

Liniové měření

Měření za účelem detekce a stanovení hloubky krytí zabudovaných předmětů bylo prováděno přístroji podél vyznačených linií (viz obr. 23). Měření probíhalo kolmo na směr uložení zabudovaných prvků a také v místech, kde byla umístěna polystyrénová plotna a vzduchová dutina. Poloha předmětu, byla při jeho detekci vyznačena na povrchu desky. Naměřená hodnota krytí pak byla odečtena přímo z obrazovky a zapsána do protokolu. Tento postup byl za účelem získání většího počtu hodnot pro vyhodnocení proveden každým přístrojem třikrát. Při měření bylo postupováno dle metodik měření uvedených v kapitole 6 u vybraných přístrojových zařízení.

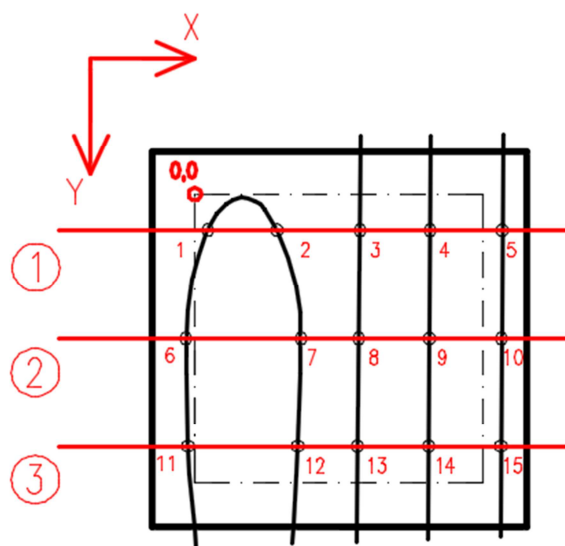
Plošné měření

Měření přístroji X-Scan a Ferroskan bylo prováděno pomocí skenovacího rastru. Postup měření u použitých přístrojů je uveden v kapitole 6. Hodnoty krycí vrstvy naměřené těmito přístroji byly stanoveny až po následné kalibraci a úpravě primárních dat v příslušném počítačovém softwaru (viz kap. 6.5.3. a 6.6.3.).

Jak je uvedeno v kapitole 6.6.3. pro kalibraci primárních dat X-Scanu by stačilo ověření hloubky krycí vrstvy pouze u jednoho zabudovaného prvku. Vzhledem k záměru měření, které vedlo ke srovnání všech výsledků krytí naměřených jednotlivými přístroji, bylo ale zapotřebí provést sekané sondy v místě detekce všech prvků.

Provedení sekaných sond

Sekané sondy označené číslicemi 1 – 15 byly provedeny v místě průsečíku měřicí linie s detekovaným půdorysem předmětu (viz obr. 25). Jejich přesné pozice v osách x a y byly odměřeny od počátku „0,0“ a zaznamenány do tabulky 18 (viz příloha č. 1).



Obrázek 25: Vytyčení sond a jejich označení

8.2. Pozemní stavba – vybrané konstrukční prvky

Do experimentální části byl zahrnut objekt Fakulty stavební, VŠB – TU Ostrava. Jedná se o experimentální stavební centrum, které slouží k zabezpečení praktické výuky studentů a k řešení vědeckovýzkumných prací.

Budova experimentálního stavebního centra je tvořena dvěma propojenými dilatačními celky, a to administrativní budovou a halou těžké laboratoře. Hala těžké laboratoře, ve které bylo provedeno měření je navržena jako ocelová nosná konstrukce, vyzdřená z keramických bloků, osazená na ŽB konstrukci suterénu. Spodní stavbu haly tvoří monolitická ŽB vana s ŽB monolitickým stropem. Stropní konstrukce spodní stavby

je navržena jako oboustranně vyztužená deska uložená na průvlacích. Průvlaky jsou podepřeny vnitřní sítí železobetonových sloupů o rozměrech 300 x 300 mm. Tloušťka stropní konstrukce byla navržena na 200 mm, ale v místě zkušebního stendu byla konstrukční výška navržena v mocnosti 700 mm. Střešní konstrukce haly je navržena jako sedlová střecha tvořena ocelovými profily opatřenými trapézovými plechy. Přirozené osvětlení suterénu je zabezpečeno anglickými dvorky.

Za účelem ověření polohy a krytí výztuže bylo srovnávací měření u tohoto objektu orientováno na spodní stavbu. Konkrétně se jednalo o suterénní stěnu zkušební haly. Měření bylo provedeno následujícími metodami:

- Nedestruktivní metody
 - Zařízení na bázi elektromagnetické indukce:
 - Hilti: Ferrosan PS 200;
 - Proceq: profometr 4.
 - Zařízení na principu georadaru:
 - Hilti PS 1000 X-Scan.
- Destruktivní metoda
 - Sekaná sonda.

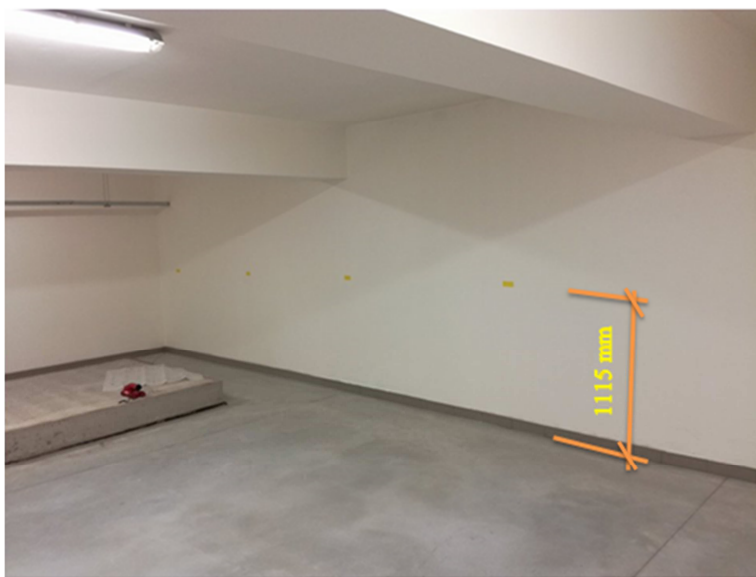
Součástí srovnávacího měření bylo také porovnání detekce výztuže v místě stropní konstrukce naměřené X-Scanem a Ferrosanem.

8.2.1. Příprava ověřovaného povrchu

Srovnávací měření bylo soustředěno na vertikální výztuž suterénní stěny. Vzhledem k plošným rozměrům této stěny (2,8 x 10 m) bylo zvoleno liniové měření prováděné pouze v jedné výškové úrovni (linii) stěny.

Pro zajištění polohy měřicí linie mimo horizontální výztuž, bylo provedeno vytyčení polohy této výztuže za pomoci přístroje Ferrosan. Vytyčení proběhlo v režimu „quickscan“ pojezdem po povrchu konstrukce ve vertikálním směru. Mimo nalezenou polohu horizontální výztuže byla na povrchu konstrukce vyznačena měřicí linie. Jak je znázorněno na obrázku 26, výšková úroveň linie byla stanovena ve výšce 1115 mm od

podlahy. Schéma stěny s přesným umístěním měřené linie, včetně vytyčení jejího počátku a konce, je uvedeno v příloze č. 2 na obrázku 37.



Obrázek 26: Vytyčení měřené linie na posuzované konstrukci

8.2.2. Postup měření

Liniové měření

Profometrem 4 byly pozice výztuží postupně doměřovány a následně zapisovány do protokolu. Měření bylo provedeno dle metodiky uvedené v kapitole 6. Naměřené hodnoty krytí společně s odměřenými pozicemi výztuží jsou součástí tabulky 5 v kapitole 9.2.

Zařízením X-Scan a Ferroskan proběhlo srovnávací měření v režimu „*quickscan recording*“. Měření bylo zahájeno v předem označeném počátku měřené linie a ukončeno bylo v době, kdy zařízení dosáhlo koncového místa měřící linie. Postup měření byl proveden dle metodiky uvedené v kapitole 6. Poloha a hodnota krytí výztuže byly u obou zařízení ověřeny až po zpracování a úpravě vstupních dat v příslušném počítačovém softwaru (Hilti PROFIS Ferroskan, Hilti PROFIS PS 1000) dle postupu, který je součástí kapitoly 6.5.3. a 6.6.3. Zpracované výstupy jsou uvedeny v tabulkách 6 a 7 v kapitole 9.2.

Plošné měření

Soubor naměřených hodnot byl navíc rozšířen o data z plošného scanu P1 získaná X-Scanem a Ferroskanem. Umístění skenovacího rastru bylo v ploše zkoumané konstrukce

zvoleno tak, aby plocha rastru překrývala část měřicí linie. Tímto byly získány další data z jiného skenovacího režimu „*imagescan*“, která bude možno následně mezi sebou porovnat. Umístění skenovaného rastru v ploše zkoumané stěny je uvedeno v příloze č. 2.

Pro srovnání detekce polohy výztuže X-Scanem a Ferroskanem byl proveden plošný scan P3. Rastr scanu (600 x 600 mm) byl osazen na spodním líci stropní konstrukce v místě, kde tloušťka stropní desky činí 700 mm. Jeho umístění bylo zvoleno tak, aby skenování proběhlo i přes otvor, který slouží ke kotvení stendu. Otvor tvoří tenkostěnná ocelová trubka o průměru 70 mm. Detekce výztuže ověřená vybranými přístroji je uvedena v kapitole 9.2. na obrázcích 33 a 34.

Metodika měření daných přístrojů, dle které se postupovalo v případě plošného měření P1 a P2, je uvedena v kapitolách 6.5.2. a 6.6.2. Postupy kalibrace a úpravy primárních dat, které byly v tomto měření požity, jsou podrobně popsány v kapitole 6.

Sekané sondy

Provedení sekaných sond bylo nezbytné pro ověření skutečné hodnoty krytí výztuže. Sekanými sondami došlo k obnažení krycí vrstvy jedné vertikální a jedné horizontální výztuže v místě plošného scanu P1.

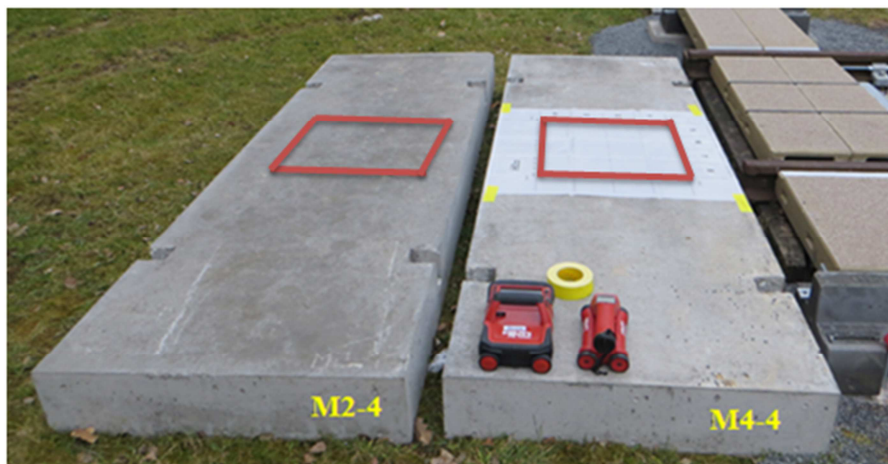
8.3. Silniční panely s částečnou náhradou kameniva struskou

Silniční panely s označením M2-4 a M4-4 (viz obr. 27) byly vyrobeny v poloprovozu, kdy větší část přírodního kameniva byla nahrazena umělým kamenivem (struskou). Výrobní rozměry obou panelů jsou 2990 x 990 x 215 mm a rozdíl mezi nimi spočívá pouze v použití odlišné betonářské výztuže.

Panel s označením M2-4 je vyztužen kari sítí 6 x 6 x 100 mm o rozměrech 2900 x 900 mm. Vyztužení panelu je provedeno ve dvou vrstvách se zachovaným krytím 45 mm od horního a dolního povrchu panelu. Okraje panelu jsou z důvodu umístění manipulačních závěsů zesíleny čtyřmi pruty výztuže o průměru 14 a 20 mm, a osmi třmínky o průměru 8 mm. Tyto pruty jsou uloženy ve vzdálenosti 55 mm od okraje panelu, přičemž dva pruty o průměru 20 mm jsou při horním povrchu a zbylé dva pruty o průměru 14 mm se od nich nachází ve vertikální poloze směrem k dolnímu povrchu ve vzdálenosti 113 mm.

Vyztužení panelu M4-4 je provedeno z betonářské oceli s označením B500b. Hlavní výztuž tohoto panelu tvoří pruty o průměru 14 mm, a to jak v podélném tak i příčném směru. Okraje panelu jsou opět z důvodu manipulačních závěsů zesíleny, a to dvěma pruty o průměru 20 mm, které jsou s dolní výztuží provázány pomocí šestnácti třmínků o průměru 10 mm. Krytí výztuže tohoto panelu je 30 mm.

Podrobný popis a uložení jednotlivých výztuží obou prefabrikátů jsou uvedeny v příloze č. 3.



Obrázek 27: Silniční panely M2-4 a M4-4

Srovnávací měření bylo v případě těchto prefabrikátů rovněž zaměřeno na detekci a ověření hloubky krycí vrstvy ocelové výztuže zabudované do zkoumaných objektů za pomoci následujících metod:

- Nedestruktivní metody
 - Zařízení na bázi elektromagnetické indukce:
 - Hilti: Ferrosan PS 200, Multidetektor PS 50;
 - Bosch: D-Tect 100, D-Tect 150 ;
 - Proceq: profometr 4.
 - Zařízení na principu georadaru:
 - Hilti PS 1000 X-Scan.
- Destruktivní metoda
 - Sekaná sonda.

8.3.1. Příprava měřeného povrchu silničních panelů

V případě měření přístroji X-Scan a Ferroskan se příprava povrchu zkoumaných objektů M2-4 a M4-4 týkala pouze umístění skenovacího rastru. Rastr byl v obou případech měření uložen přibližně uprostřed zkoumané plochy prefabrikátu (viz obr. 27)

Co se týká srovnávacího měření prováděného přístroji vedených podél linie, byly na povrchu objektu vytyčeny body, které tvořily obvod skenovacího rastru. Na základě těchto vytyčených bodů byl vymezen rozsah měřicí plochy pro další přístroje, které nevyžadovaly vedení dle skenovacího rastru. Měřicí plocha byla dále rozdělena přímkami v podélném a příčném směru tak, aby došlo při srovnávacím měření k zachycení všech výztuží zasahujících do zkušebních ploch.

8.3.2. Postup měření

Plošné měření

Soubor měření zařízením X-Scan a Ferroskan u obou prefabrikátů proběhl za pomoci skenovacího rastru 600 x 600 mm dle postupů uvedených v kapitole 6. Výsledné hodnoty krytí výztuží byly opět stanoveny až na základě kalibrace a úpravy naměřených dat (viz kap. 6.5.3. a 6.6.3.).

Liniové měření

Jak je uvedeno v odstavci výše, srovnávací měření u těchto objektů bylo provedeno ve směru vytyčených měřících přímek. Jednalo se o tři přímký v podélném a tři přímký v příčném směru. Jejich polohy byly zvoleny mimo nalezenou výztuž. Metodiky měření vybranými přístroji u těchto prefabrikátů jsou uvedeny v kapitole 6. Schématické obrázky měřících ploch obou panelů s vytyčenými přímkami jsou uvedeny v příloze č. 3.

Provedení sekaných sond

Součástí měření byly provedeny opět sekané sondy. U panelu M4-4 jich bylo provedeno šest a u panelu M2-4 byly čtyři. Detaily sekaných sond obou prefabrikátů jsou součástí přílohy č. 3.

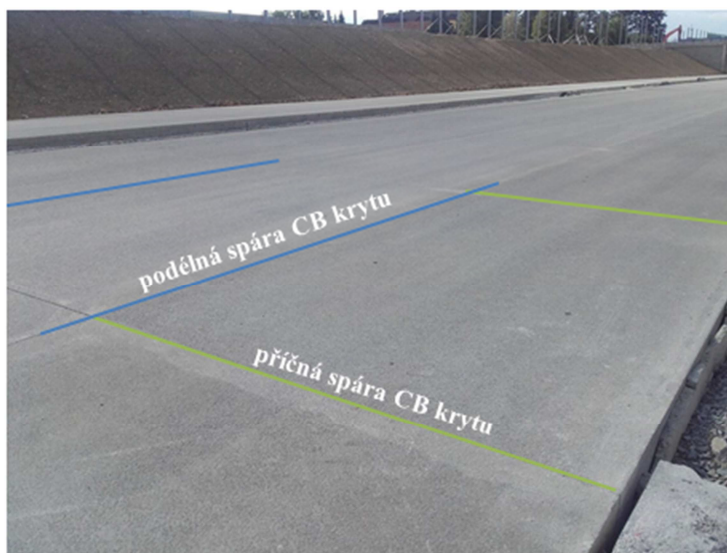
8.4. Cementobetonový kryt

Součástí experimentální části práce bylo provedení in situ srovnávacího měření na vyztuženém CB krytu vozovky (viz obr. 28), nově budované pozemní komunikace (dálnice) v České republice. Vyztužený CB kryt se v ČR provádí od roku 1993, výztužné prvky zde slouží pro přenos zatížení v příčných a podélných spárách, aby nedocházelo k tvorbě tzv. schodků – vertikálních posunů CB desek (dilatačních segmentů vzniklých řezáním spár CB krytu).

Měření bylo soustředěno na ověření množství a polohy kluzných trnů ve spárách CB krytu. Konkrétně se jednalo o srovnání výsledků naměřených vybranými zařízeními v místě dvou vybraných příčných spár s výsledky měření referenčním zařízením - georadarovým vozíkem (viz kap. 6.7).

Podle projektové dokumentace stavby jsou tyto kluzné trny průměru 2,5 cm umístěny v betonu v hloubkách cca 13 cm, což bylo výhodné/vhodné např. pro stanovení limit přesnosti měření vybranými přístroji ve větších hloubkách, než je tomu u krytí výztuže železobetonových konstrukčních prvků. Dále jsou tyto výztužné prvky umístěny v betonu ve vzdálenostech cca 25 cm a z tohoto důvodu by nemělo docházet k ovlivnění detekce výztuže jinou výztuží.

Vrstva CB krytu je v šířce budoucí vozovky rozdělena na tři segmenty tzv. desky (viz obr. 28). Délka měřené příčné spáry v celé šířce krytu je podle projektové dokumentace 11,750 metrů. Příčné spáry jsou od sebe odděleny dvěma podélnými spárami ve směru od vnitřního okraje ve vzdálenostech 3,75 a 7,25 metrů, délka podélné spáry desek je 5 metrů. Tloušťka CB krytu/desek by měla dosahovat hodnoty 270 mm.



Obrázek 28: Foto vybudované vozovky s cementobetonovým krytem

Při srovnávacím měření bylo využito těchto vybraných zařízení využívající následující principy:

- Nedestruktivní metody
 - Zařízení na bázi elektromagnetické indukce:
 - Hilti: Ferroskan PS 200.
 - Zařízení na principu georadaru:
 - Hilti PS 1000 X-Scan;
 - georadar (GSSI-SIR30) společnosti SQZ.

8.4.1. Příprava povrchu CB krytu

Vzhledem k pohybu stavebních strojů v měřeném úseku bylo zapotřebí zkoumaný povrch zbavit hrubých nečistot, které by mohly negativně ovlivnit výsledky měření. Dále bylo provedeno na každé příčné spáře vytyčení dvou skenovacích linií, podél nichž probíhalo skenování přístrojem X-Scan a Ferroskan. Vytyčení linií bylo provedeno za pomoci provazce a dvou závaží. Georadarový vozík (GSSI-SIR30) společnosti SQZ je již vybaven pomocnými prvky, za pomoci kterých dochází k přesnému vedení vozíku v měřené spáře. Z tohoto důvodu nebylo u tohoto zařízení vytyčení měřících linií zapotřebí. Příprava skenovacího povrchu CB krytu byla u obou měřených spár totožná. Schématické obrázky příčných spár S1 a S2 včetně jejich rozměrů a vytyčených měřících linií jsou uvedeny v příloze č. 4.

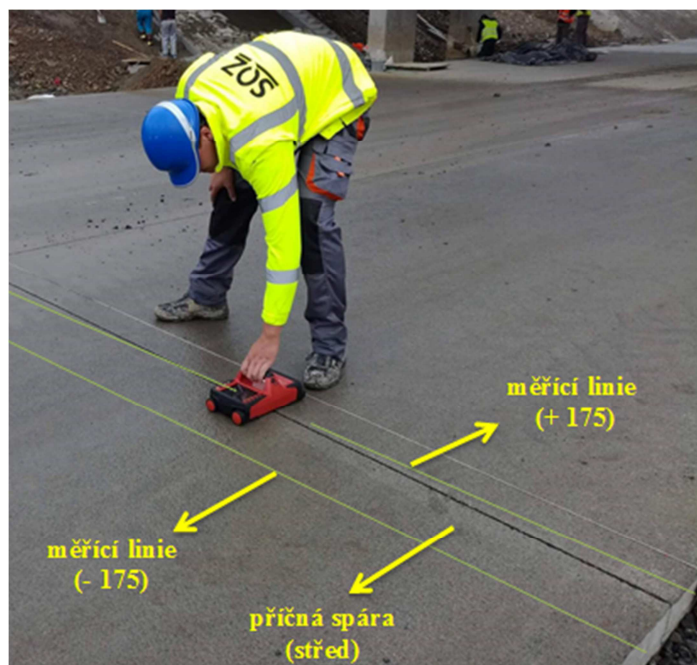
8.4.2. Postup měření

Liniové měření

První liniové měření příčné spáry označené S1 a S2 proběhlo georadarem (GSSI-SIR30) společnosti SQZ podle metodického postupu (viz kap. 6.7). Měření bylo provedeno ve třech liniích a to v pozicích: (střed, -175 mm a +175 mm), vzhledem k příčné spáře. Přesné vedení vozíku georadaru bylo v těchto pozicích zabezpečeno třemi vidlicemi, které jsou umístěny na čelní straně vozíku. Ty jsou spolu s anténami georadaru uspořádány podle délkových rozměrů výztužných prvků.

Druhé liniové měření za pomoci X-Scanu bylo provedeno ve stejných pozicích/podélných liniích jako u georadarového vozíku (GSSI-SIR30) dle postupu (viz kap. 6). Rozdíl spočíval pouze ve vedení přístroje při skenování povrchu a to v případě měření v krajních liniích vzdálených 175 mm od osy příčné spáry, kdy byl X-Scan veden podél provazce napnutého mezi okraji CB desky (viz obr. 29)

Třetí liniové měření bylo provedeno Ferroscanem dle postupu (viz kap. 6) a stejným způsobem jako u zařízení X-Scan.



Obrázek 29: Pohled na průběh měření X-Scanem

9. Vyhodnocení experimentální části

9.1. Laboratorní betonová deska

Soubor všech výsledků hloubky krytí prvků v laboratorní desce, získaných přístroji při opakovaném měření prováděných podél třech linií jsou uvedeny v příloze č. 1. Z těchto hodnot byly následně stanoveny výsledné průměrné hodnoty a ty jsou uvedeny v tabulce 3.

Výsledné hodnoty krytí, které byly získány přístroji při plošném měření desky, jsou taktéž uvedeny v tabulce 3. Tyto hodnoty se ale od předchozích liší tím, že se nejedná o průměrné hodnoty, nýbrž o konkrétní hodnotu krytí každého prvku stanovenou z příslušného vyhodnoceného scanu. Hodnoty krytí byly odečteny ve stejných bodech jako u zařízení, kterým srovnávací měření probíhalo podél linií. Vyhodnocené scany, u kterých byl odečet hodnot krytí proveden, jsou součástí přílohy č. 1.

Součástí tabulky 3 jsou také uvedeny skutečné hodnoty krytí, které byly ověřeny sekanými sondami v místě detekce jednotlivých předmětů (označeny jako skutečné hodnoty krytí v tabulce a vyznačeny zeleně).

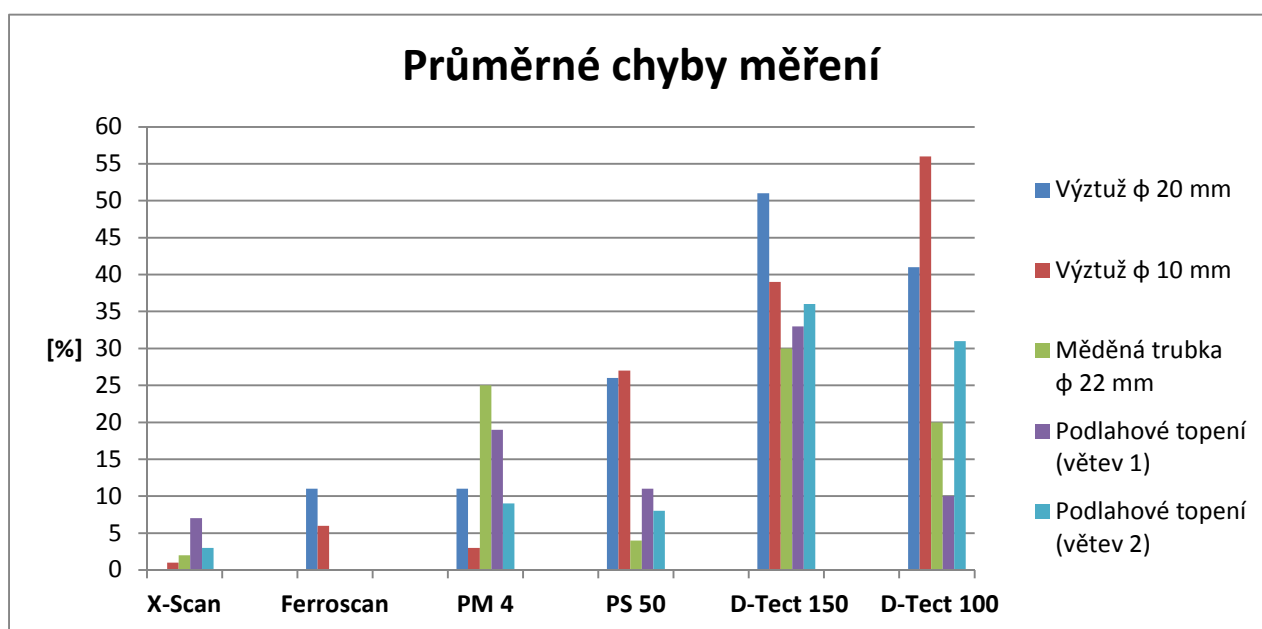
Tabulka 3: Výsledné hodnoty včetně skutečné hloubky krytí

Objekt	Zařízení	Režim	φ Naměřená hloubka krytí [mm]														
			Podlahové topení (větev 1)			Podlahové topení (větev 2)			Měděná trubka φ 22 mm			Výztuž φ 10 mm			Výztuž φ 20 mm		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Laboratorní deska	X-Scan	Imagescan	38	54	55	33	43	55	54	54	53	23	23	24	23	23	25
	Ferroskan	Blockscan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	25	25	24	26	29
	PS 50	Beton	44	52	49	37	43	51	53	56	59	30	30	29	30	31	28
		Signální náhled	36	52	42	28	52	44	52	49	55	25	25	30	32	35	35
		Podlahové topení	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bosch D-Tect 100	Režim 1	32	43	48	20	28	41	46	40	43	13	9	9	13	12	17
	Bosch D-Tect 150	Beton	28	26	37	23	22	35	36	41	36	13	13	17	10	14	11
		Podlahové topení	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Profometr 4	-	32	42	36	33	43	42	39	43	39	22	23	23	19	21	23
Skutečná hloubka krytí			36	49	52	31	43	53	53	53	55	23	23	24	23	23	25

Pozn.: Předměty, které jsou označené symbolem „-“, nebyly daným přístrojem v příslušném režimu identifikovány.

Detekce jednotlivých předmětů byla u všech zařízení pozitivní, výjimkou bylo pouze měření Ferroskanem. Při zpracování naskenovaných dat tímto zařízením nebyla u podlahového topení (větev 1 a 2) ani u měděné trubky jejich poloha detekována. Identifikace předmětů ostatními přístroji je prokázána určením jejich hloubky krytí.

Vyhodnocení měření bylo provedeno srovnáním naměřených hodnot jednotlivých zařízení na základě výpočtu průměrné chyby měření daného předmětu. Ta byla stanovena jako podíl naměřené hodnoty krytí daným zařízením ke skutečné hodnotě krytí ověřené sekanou sondou. Průměrná absolutní chyba měření byla následně vyjádřena v procentech. Výsledné procentuální chyby měření jednotlivých zařízení jsou uvedené v tabulce 22 v příloze č. 1. Pro přehlednější zobrazení srovnání jednotlivých zařízení byl proveden graf 1.



Graf 1: Srovnání průměrných chyb měření

Pozn.: U zařízení Ferroskan nebyla větev podlahové topení 1 a 2, ani měděná trubka detekovány.
 U zařízení PS 50 a D-Tect 150 u podlahového topení (větev 1 a 2) je uvedena chyba měření v režimu „Beton“ nikoli „Podlahové topení“.

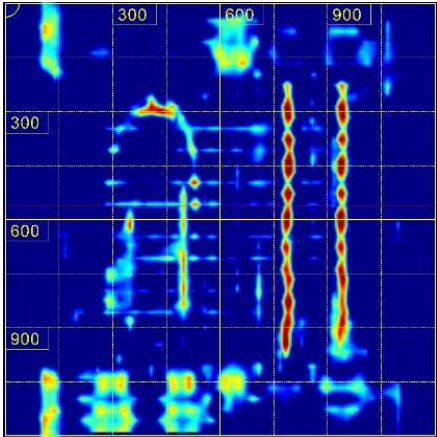
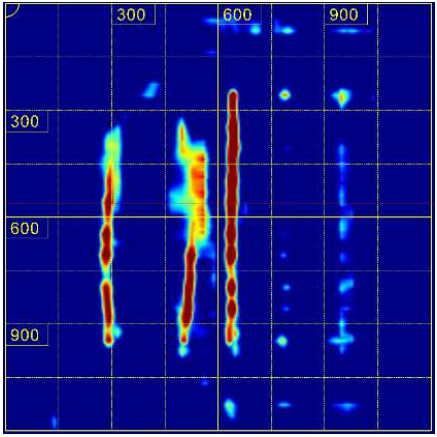
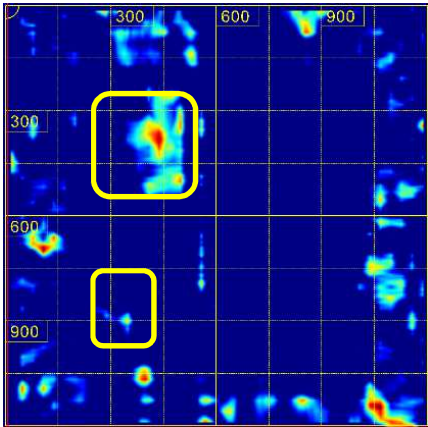
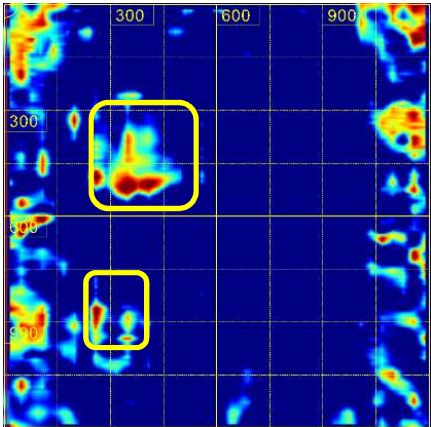
Podlahové topení -	hloubka uložení 36 – 53 mm
Měděná trubka ϕ 22 mm -	hloubka uložení 53 – 55 mm
Výztuž ϕ 10 mm -	hloubka uložení 23 – 24 mm
Výztuž ϕ 20 mm -	hloubka uložení 23 – 25 mm

Z grafu 1 vyplývá přesnost měření vybraných přístrojových zařízení jak u feromagnetických tak neferomagnetických materiálů, kdy nejpresnějším zařízením na základě uvedených chyb měření byl přístroj X-Scan od výrobce Hilti. Nejmenší přesnost pak vykázalo zařízení D-Tect 150 od výrobce Bosch. U Ferroskanu jsou uvedeny pouze

chyby měření získané u ocelových výztuží, tím byl potvrzen fakt, že zařízení je vhodné pouze pro detekci feromagnetických předmětů.

Pro vyhodnocení detekce zabudovaného polystyrénu a vzduchové kaverny v simulačním modelu, byly vytvořeny řezy. Ty byly získané z plošného scanu (1200 x 1200 mm) pořízeného zařízením X-Scan v určitých hloubkách od zkoumaného povrchu, které jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4: Řezy simulačního modelu

 <p>Hloubka: 25 mm od povrchu</p>	 <p>Hloubka: 55 mm od povrchu</p>
 <p>Hloubka: 120 mm od povrchu</p>	 <p>Hloubka: 140 mm od povrchu</p>

Hloubka: 25 mm od povrchu

- v této hloubce se nachází část podlahového topení a výztuže o průměru 10 a 20 mm. Měděná trubka v tomto scanu zatím není zobrazena, jelikož se nachází pod touto hladinou řezu.

Hloubka: 55 mm od povrchu

- zde jsou zobrazeny obě větve podlahového topení a měděná trubka. Betonářské výztuže se již nachází mimo výškovou úroveň zkoumaného řezu.

Hloubka: 120 mm od povrchu

- v této hladině řezu se již nachází část polystyrénové plotny o plošných rozměrech 300 x 300 mm. V levém dolním rohu je vyznačená počáteční detekce vzduchové kaverny.

Hloubka: 140 mm od povrchu

- v zobrazené hladině řezu je detekovaná větší část polystyrénové plotny i vzduchové kaverny.

Hloubky řezů byly zvoleny v oblastech, kde byly zachyceny přechody mezi uložením jednotlivých prvků. Detekci (podlahového topení (větve 1 a 2), měděné trubky a betonářských výztuží) pořízenou tímto zařízením je možné následně porovnat se skutečnými hloubkami uložení těchto prvků uvedených v tabulce 3. Uložení polystyrénové plotny bylo zvoleno v hloubce 120 – 150 mm. Vzduchová kaverna se nachází v rozmezí 120 – 170 mm pod zkoumaným povrchem. U některých prvků došlo v průběhu betonáže k jejich nadlehčení a následným posunům. Tyto pohyby jsou v řezech detekovány nerovnoměrným zobrazením jejich polohy. Detekce zabudované dřevěné latě v hloubce 240 mm nebyla při měření zaznamenána. Absence detekce byla pravděpodobně způsobena odrazem většiny vysílané energie od ocelových výztuží umístěných nad touto latí, případně malým rozměrem latě umístěném ve velké vzdálenosti od povrchu.

9.2. Pozemní stavba – vybrané konstrukční prvky

Svislá konstrukce (ŽB stěna)

U ŽB stěny bylo přístrojovým zařízením při liniovém měření detekováno celkem 43 výztuží v hloubkách uložení 53 – 105 mm. Poloha ocelové výztuže v ověřované konstrukci při liniovém měření byla Profometrem 4 postupně detekována současně při ověřování její hloubky krytí. Naměřené hodnoty byly průběžně zaznamenány na štítky, které byly nalepeny v místech detekcí výztuže na konstrukci. Výsledné hodnoty krytí výztuže naměřené Profometrem 4 jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5: Hodnoty krytí získané Profometrem 4 při liniovém měření ŽB stěny

Profometr 4	Ozn. výztuže	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Staničení [m]	0,00	0,07	0,28	0,45	0,63	0,85	1,02	1,27	1,44	1,65	1,84	2,05	2,28	2,49	2,70	2,88	3,09	3,26	3,44	3,60	3,79	3,97	4,18	4,36	4,58
	Krytí [mm]	-	68	68	68	68	65	62	60	58	56	56	53	54	53	55	54	54	55	55	57	58	60	64	64	65
	Ozn. výztuže	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	K	
	Staničení [m]	4,78	5,01	5,23	5,44	5,67	5,84	6,02	6,21	6,41	6,63	6,85	7,04	7,22	7,40	7,57	7,80	8,02	8,19	8,39	-	-	-	-	9,38	
	Krytí [mm]	67	70	68	70	65	66	60	62	62	70	75	70	75	75	75	76	74	85	95	-	-	-	-	-	

Pozn.: Hodnoty, které jsou označeny červeně, nebyly daným zařízením detekovány

Polohy u výztuží č. 44, 45, 46, 47 včetně jejich hodnot krycích vrstev nebyly Profometrem 4 pravděpodobně detekovány z důvodu jejich umístění v konstrukci mimo měřicí rozsah zařízení.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 6, hodnoty získané liniovým měření X-Scanem a Ferroskanem byly ověřeny až po následné kalibraci a úpravy primárních dat v příslušných PC softwarech. Kalibrace a úprava dat byla provedena až po provedení sekané sondy v místě plošného scanu P1, který překrýval část měřicí linie. Ověřené hodnoty krytí obou zařízení jsou součástí tabulky 6 a 7.

Tabulka 6: Hodnoty krytí získané Ferroskanem při liniovém měření ŽB stěny

Ferroskan	Ozn. výztuže	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Staničení [m]	0,00	0,07	0,28	0,45	0,63	0,86	1,05	1,27	1,47	1,66	1,83	2,06	2,30	2,00	2,50	2,72	2,90	3,12	3,27	3,45	3,63	3,83	4,02	4,21	4,41
	Krytí [mm]	-	74	73	71	68	69	67	65	64	64	63	62	63	61	63	62	63	64	66	65	70	72	74	74	75
	Ozn. výztuže	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	K	
	Staničení [m]	4,81	5,04	5,27	5,48	5,68	5,86	6,03	6,23	6,43	6,61	6,86	7,08	7,25	7,43	7,63	7,83	8,06	8,22	8,38	-	-	-	-	9,42	
	Krytí [mm]	76	78	78	76	80	83	79	83	82	84	85	92	89	92	95	95	100	90	96	>100	>100	>100	>100	-	

Pozn.: Hodnoty, které jsou označeny červeně, nebyly daným zařízením detekovány

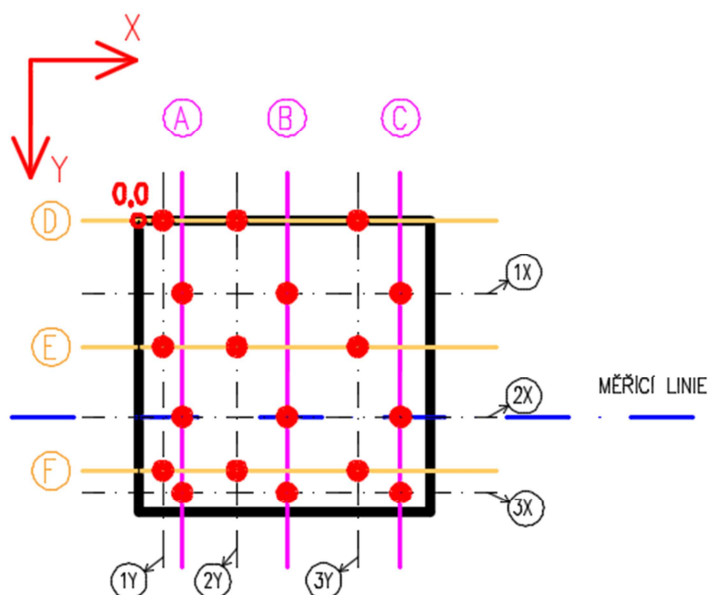
Polohy výztuží č. 44, 45, 46, 47, a tedy ani jejich hodnoty krycí vrstvy nebyly Ferroskanem detekovány. Tato skutečnost pravděpodobně byla pravděpodobně způsobena jejich umístěním mimo měřicí rozsah zařízení.

Tabulka 7: Hodnoty krytí získané X-Scanem při liniovém měření ŽB stěny

X-Scan	Ozn. výztuže	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Staničení [m]	0,00	0,07	0,29	0,47	0,65	0,87	1,07	1,30	1,47	1,68	1,86	2,08	2,31	2,51	2,73	2,91	3,13	3,29	3,46	3,64	3,83	4,03	4,22	4,43	4,62
	Krytí [mm]	-	78	72	71	71	68	66	66	65	65	65	62	66	62	63	63	63	63	64	68	68	69	73	73	73
	Ozn. výztuže	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	K	
	Staničení [m]	4,84	5,06	5,29	5,49	5,71	5,88	6,04	6,24	6,45	6,68	6,88	7,10	7,28	7,47	7,65	7,87	8,08	8,27	8,48	8,69	8,87	9,08	9,28	9,46	
	Krytí [mm]	78	78	80	76	76	78	81	82	82	84	88	90	90	90	93	93	98	102	102	105	103	103	100	-	

Srovnání naměřených hodnot krytí výztuže bylo pro lepší přehlednost zaznamenáno do grafu. Výsledné grafy 6 a 7, které zobrazují srovnání hodnot krytí naměřených vybranými přístroji podél měřicí linie, jsou uvedeny v příloze č. 2.

Měřením přístroji X-Scan a Ferroskan plošného scanu P1, za účelem porovnání dat získaných v jiném skenovacím režimu, byly nalezeny tři vertikální a tři horizontální výztuže (viz obr. 30). Vyhodnocené scany včetně naměřených hodnot krytí v obou skenovacích režimech jsou uvedeny v příloze č. 2.



Obrázek 30: Schéma plošného scanu P1

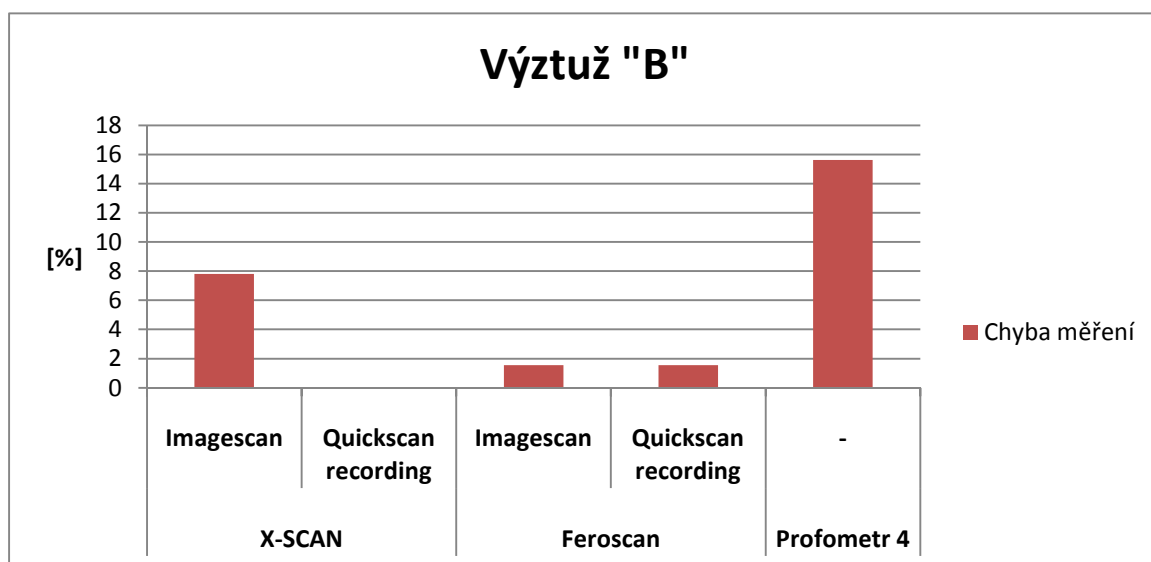
V místě plošného scanu P1 byly dále provedeny sekané sondy č. 1 a 2 u kterých došlo k obnažení vertikální výztuže „B“ a horizontální výztuže „F“. Hodnota krytí byla u vertikální výztuže „B“ zaznamenaná jak liniovým měřením, tak plošným scanem P1. Skutečné hodnoty jsou uvedeny v tab. 8 (označeny jako skutečné hodnoty krytí v tabulce a vyznačeny zeleně). V tabulce 8 jsou také uvedeny ověřené průměry zabudovaných výztuží (označeny jako ověřený průměr výztuže v tabulce a vyznačeny oranžově). Umístění sekaných sond v ploše scanu P1 je uvedeno na obrázku 40 v příloze č. 2.

Z důvodu zajištění stále stejného místa odečtu naměřených hodnot krytí výztuže v ploše scanu P1, bylo provedeno rozdělení skenovací plochy za pomoci třech horizontálních (1x, 2x, 3x) a třech vertikálních přímek (1y, 2y, 3y) tak, jak je znázorněno na obrázku 30. Polohy těchto přímek byly zaměřeny v osách x a y vzhledem k počátečnímu bodu skenovacího rastru „0,0“ a zaznamenány (viz příloha č. 2). V místě průsečíku každé přímky s danou výztuží byl označen bod. V tomto bodě byly následně odečteny hodnoty krytí výztuží plošného scanu P1 (viz tab. 8), a to na základě ověřené hloubky krytí sekanou sondou.

Tabulka 8: Hodnoty krytí získané v místě scanu P1

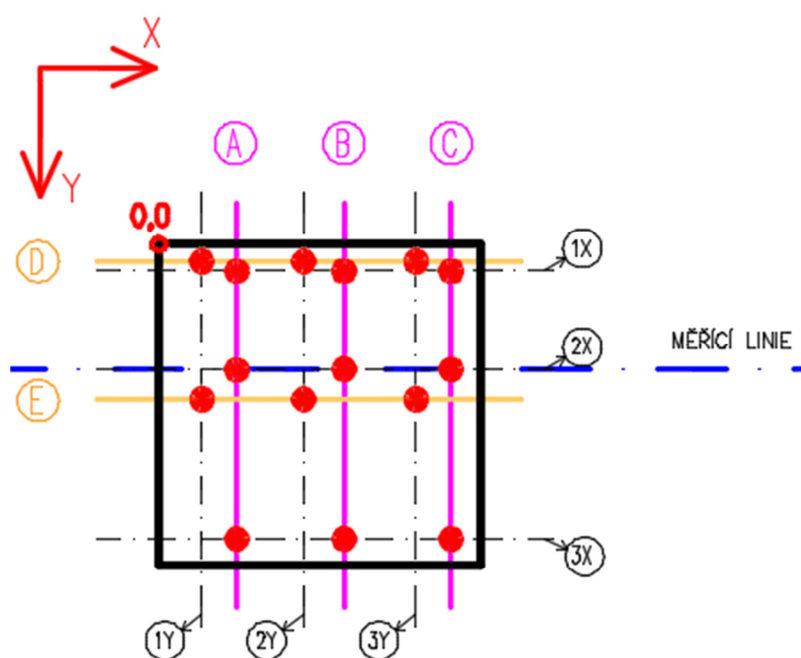
Ozn. scanu	Zařízení	Režim	Naměřená hloubka krytí [mm]	
			Vertikální výztuž	Horizontální výztuž
			B	F
			2x	2y
P1	X-SCAN	Imagescan	69	82
		Quickscan recording	64	-
	Feroscan	Imagescan	63	66
		Quickscan recording	63	-
	Profometr 4	-	54	-
Skutečná hloubka krytí			64	74
Ověřený průměr výztuže			12	12

Vzhledem k získaným hodnotám krytí výztuže „B“ vybraným přístrojovým zařízením ve dvou režimech skenování bylo provedeno jejich porovnání. Pro vyhodnocení byly vypočteny absolutní chyby měření v procentech vzhledem ke skutečné hodnotě krytí získané sekanými sondami (viz. příloha č. 2). Pro srovnání takto stanovených chyb u jednotlivých přístrojů byl vytvořen srovnávací graf 2.



**Graf 2: Srovnání chyby měření u výztuže „B“
(při hloubce uložení 64 mm)**

Měřením X-Scanem a Ferroskanem plošného scanu P2 byly nalezeny tři vertikální a dvě horizontální výztuže (viz obr. 31). Postup úpravy plochy byl proveden stejným způsobem, jako je uvedeno u plošného scanu P1. Vyhodnocené scany obou zařízení včetně všech naměřených hodnot krytí ve dvou skenovacích režimech jsou součástí přílohy č. 2.



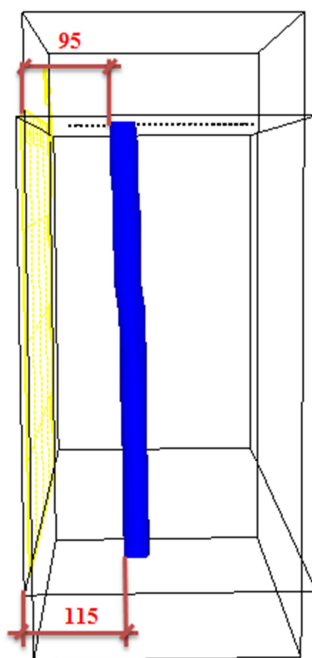
K ověření polohy výztuže umístěné ve zkoumané konstrukci byly sekané sondy č. 3 a 4 (viz příloha č. 2) umístěny tak, aby byly zjištěny skutečné hodnoty krytí ve dvou místech vertikální výztuže „B“ (označeny jako skutečné hodnoty krytí v tabulce a vyznačeny zeleně). Na základě těchto hodnot (viz tab. 9) v místě přímky 1x a 3x byl potvrzen předpoklad v chybném uložení výztuže. Součástí tabulky 9 jsou také ověřené průměry výztuže „B“ (označeny jako ověřený průměr výztuže v tabulce a vyznačeny oranžově).

Tabulka 9: Hloubky krytí získané v místě plošného scanu P2

Ozn. scanu	Zařízení	Režim	Naměřená hloubka krytí [mm]	
			Vertikální výztuž	Vertikální výztuž
			B	B
			1x	3x
P2	X-SCAN	Imagescan	95	114
		Quicksan recording	-	-
	Feroscan	Imagescan	89	104
		Quicksan recording	-	-
	Profometr 4	-	-	-
	Skutečná hloubka krytí		95	115
	Ověřený průměr výztuže		12	12

Hodnoty uvedené v tabulce 9 také vypovídají o šikmosti výztuže „B“ vzhledem k povrchu konstrukce. Pro lepší znázornění byl vytvořen 3D model výztuže (viz obr. 32).

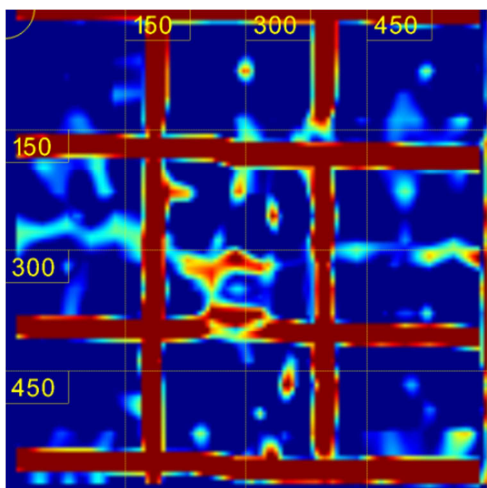
Tato ověřená skutečnost byla také potvrzena při měření X-Scanem (viz tab. 7), kde je zaznamenán nárůst krycí vrstvy u výztuží (č. 45, 46, 47) nacházejících se právě v místě plošného scanu P2.



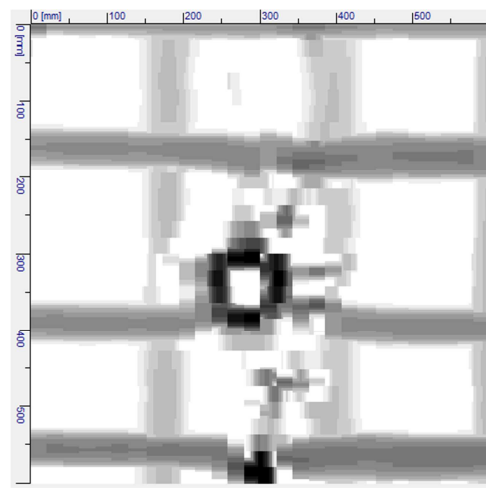
Obrázek 32: 3D model výztuže „B“ plošného scanu P2 (výztup z X-Scanu)

Stropní konstrukce

Výstupem za účelem srovnání detekované polohy výztuže plošného scanu P3 měřeného X-Scanem a Ferroskanem je pouze vizuální zobrazení scanů získaných těmito přístroji (viz obr. 33 a 34).



**Obrázek 33: Detekce výztuže
X -Scanem**



**Obrázek 34: Detail výztuže detekované
Ferroskanem**

Z obrázků 33 a 34 vyplývá, že výstupy detekce těchto přístrojů jsou téměř totožné. Přístroje zaznamenaly jak hlavní obousměrnou výztuž, tak i plášť plechové trubky o průměru 70 mm, která byla před betonáží vložena do bednění za účelem vytvoření volného prostoru pro kotvící šrouby.

9.3. Silniční panely s částečnou náhradou kameniva struskou

Plošným měřením X-Scanem a Ferroskanem u objektu M4-4 bylo nalezeno pět výztuží v podélném a pět v příčném směru. Pro srovnání naměřených hodnot byly z tohoto scanu vybrány pouze tři podélné a tři příčné výztuže. Jejich hodnoty krytí byly odměřeny v upravených scanech v místě průsečíků vytyčených přímek s detekovanou polohou výztuže (viz tab. 10) Úprava vstupních dat obou zařízení proběhla dle postupů uvedených v kapitolách 6.5.3. a 6.6.3. Všechny naměřené hodnoty krytí jsou uvedeny v kapitole č. 3. Vyhodnocená data a schéma plošných scanů včetně všech nalezených výztuží jsou rovněž součástí přílohy č. 3.

Naměřené hodnoty krytí přístroji vedenými podél linií byly u vybraných výztuží odměřeny v totožných polohách jako v případě plošného měření (viz tab. 10). Soubor hodnot všech nalezených výztuží je uveden v příloze č. 3.

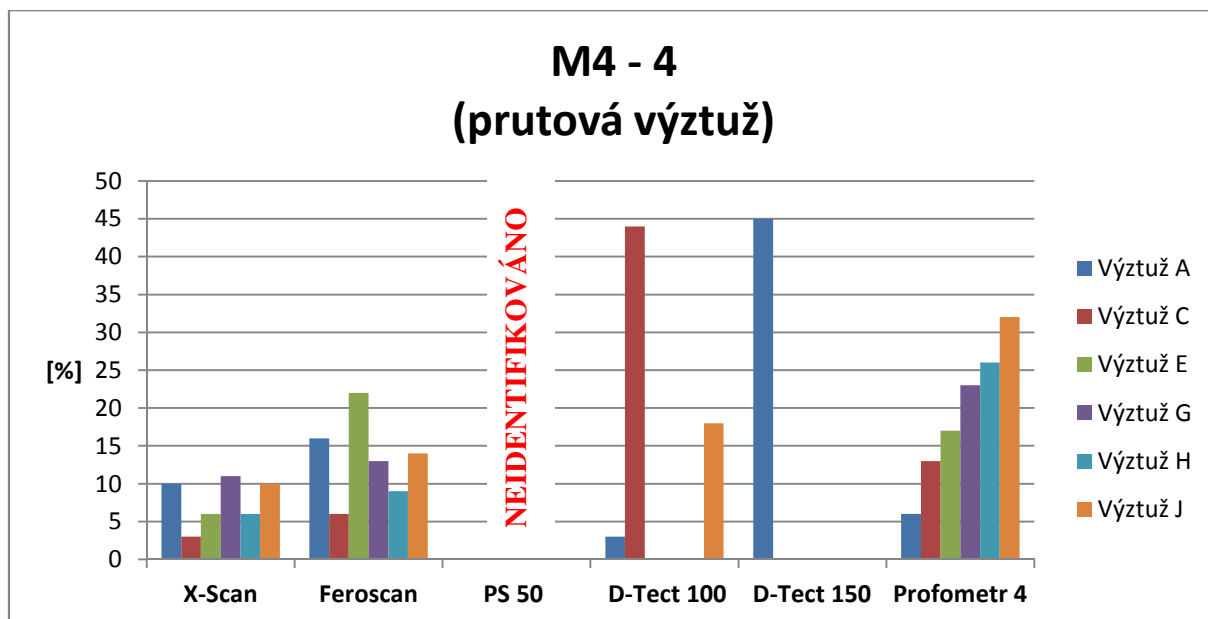
Na závěr bylo u panelu M4-4 provedeno šest sekaných sond v místech odečtu hodnot krytí přístrojovým zařízením. Sekanými sondami byly tedy obnaženy tři podélné a tři příčné výztuže. Ověřené skutečné hodnoty krytí jsou uvedeny v tabulce 10 (označeny jako skutečné hodnoty krytí v tabulce a vyznačeny zeleně).

Tabulka 10: Hodnoty krytí u vybraných výztuží objektu M4-4

Objekt	Zařízení	Režim	Naměřená hloubka krytí [mm]					
			Podélná			Příčná		
			A	C	E	G	H	J
			1x	2x	3x	1y	2y	3y
M4-4	X-Scan	Imagescan	34	31	38	52	50	55
	Ferrosan	Imagescan	26	30	28	41	43	43
	PS 50	Beton	-	-	-	-	-	-
		Signální náhled	35	33	33	46	34	41
	Bosch D-Tect 100	Režim 1	30	18	-	-	-	36
	Bosch D-Tect 150	Beton	17	-	-	-	-	-
	Profometr 4	-	29	28	30	36	35	34
Skutečná hloubka krytí			31	32	36	47	47	50

Pozn.: Hodnoty krytí naměřené zařízením Ferrosan, které jsou označeny červeně, nebyly po přepočtu vstupních dat verifikovány. To znamená, že se nejedná o korektní hodnoty. Hodnoty označené symbolem „-“ nebyly daným přístrojem detekovány.

Pro vyhodnocení měření u panelu M4-4 byl vytvořen srovnávací graf 3, zobrazující procentuální chyby měření jednotlivých přístrojových zařízení.



Pozn.: Multidetektor PS 50 v režimu „Beton“ nezaznamenal detekci žádné výztuže.

Bosch D-Tect 100 v režimu „Režim 1“ nezaznamenal výztuže E, G, H.

Bosch D-Tect 150 v režimu „Beton“ zaznamenal pouze výztuž A..

**Graf 3: Srovnání chyb měření jednotlivých přístrojových zařízení
(při hloubce uložení 31 – 50 mm)**

Postup zpracování naměřených dat u objektu M2-4 byl proveden stejným způsobem jako v případě objektu M4-4. Při měření bylo nalezeno šest výztuží v podélném a šest v příčném směru. Hodnoty naměřené u těchto výztuží přístrojovým zařízením včetně ověřených hodnot krytí jsou uvedené v tabulce 11 (označeny jako skutečné hodnoty krytí v tabulce a vyznačeny zeleně). Vyhodnocená data z plošných scanů včetně schématického obrázku nalezených výztuží jsou opět součástí přílohy č. 3. Taktéž soubor všech hodnot krytí naměřených u panelu M2-4 je uveden v příloze č. 3.

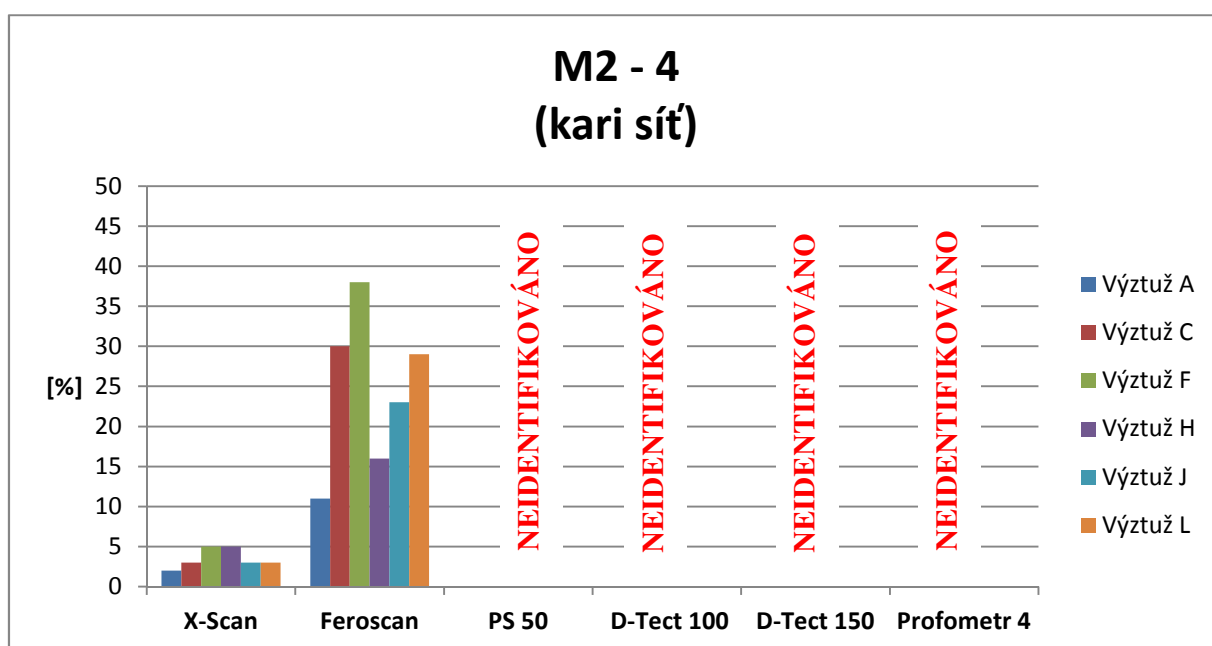
Pro ověření skutečných hodnot byly opět provedeny čtyři sekané sondy. Ty zabezpečily obnažení šesti výztuží, a to třech v podélném a třech v příčném směru. Ověřené skutečné hodnoty krytí jsou součástí tabulky 11 (označeny jako skutečné hodnoty krytí v tabulce a vyznačeny zeleně).

Tabulka 11: Výsledné hodnoty výztuží plošného scanu objektu M2-4

Objekt	Zařízení	Režim	Naměřená hloubka krytí [mm]					
			Podélná			Příčná		
			A	C	F	H	J	L
			1x	2x	3x	1y	2y	3y
M2-4	X-Scan	Imagescan	64	68	62	64	64	57
	Ferrosan	Imagescan	58	46	40	51	48	42
	PS 50	Beton	-	-	-	-	-	-
		Signální náhled	-	-	-	-	-	-
	Bosch D-Tect 100	Režim 1	-	-	-	-	-	-
	Bosch D-Tect 150	Beton	-	-	-	-	-	-
	Profometr 4	-	-	-	-	-	-	-
Skutečná hloubka krytí			65	66	65	61	62	59

Pozn.: Hodnota krytí naměřená zařízením Ferrosan, která je označena červeně, nebyla po přepočtu vstupních dat verifikována. To znamená, že se nejedná o korektní hodnotu. Hodnoty označené symbolem „-“ nebyly daným přístrojem identifikovány.

Vyhodnocením měření panelu M2-4 byl opět srovnávací graf 4 znázorňující procentuální chyby použitých přístrojových zařízení.



Pozn.: Multidetektor PS 50, Bosch D-Tect 100, Bosch D-Tect 150 a Profometr 4 nezaznamenaly detekci žádné výztuže.

**Graf 4: Chyby měření použitých přístrojových zařízení
(při hloubce uložení 59 – 66 mm)**

Dle hodnot, které nebyly u obou objektů identifikovány (viz graf 3 a 4), je možno konstatovat, že struskové kamenivo mělo vliv na elektromagnetické signály, za pomoci kterých daná zařízení detekuje předměty ve stavebních konstrukcích. Dále také můžeme říci, že i průměr a hloubka uložení použité výztuže měly významný vliv na výsledky měření použitých přístrojových zařízení.

9.4. Cementobetonový kryt

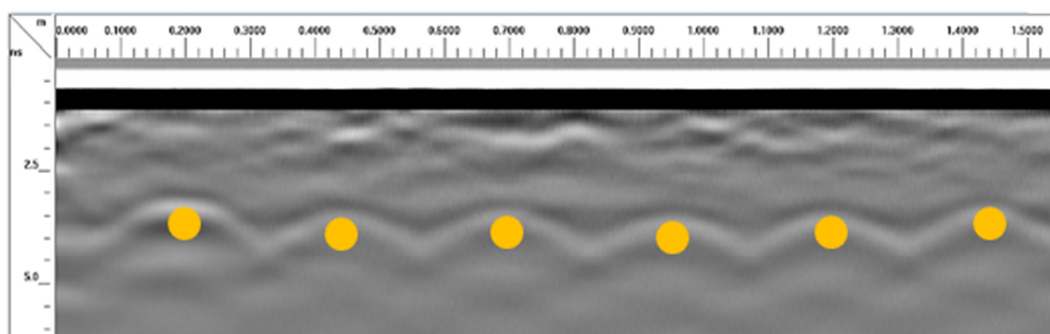
Zpracování dat naměřených georadarovým vozíkem (GSSI-SIR30) bylo provedeno v počítačovém softwaru RADAN. Výstupem z měření byla poloha kluzných trnů v CB krytu vztažená k počátku měření, kterým byla vnitřní hrana CB krytu. Všechny hodnoty získané v průběhu měření jsou uvedeny v příloze č. 4.

V případě zpracování dat ze zařízení X-Scan, bylo provedeno porovnání měřené ujeté vzdálenosti s ručně změřenou délkou pomocí kalibrovaného pásma. Jelikož skutečnou polohu kluzného trnu na stavbě nebylo možné ověřit destruktivně (např. vývrtem), a kalibrovat tak rychlost šíření EM signálu, bylo zapotřebí přistoupit na jiný způsob kalibrace primárních dat a to určením rychlosti šíření EM signálu $v = 0,098 \text{ m/ns}$. Pro účely zjištění jak kvalitní/přesná byla takto získaná data, bylo provedeno porovnání výsledků měření zařízením X-Scan s výsledky měření georadarovým vozíkem (GSSI-SIR30) společnosti SQZ (referenční zařízení). Jelikož se jedná o akreditovanou zkoušku stanovení polohy kluzných trnů a kotev CB krytu a dle metodiky [18] se hodnotí, také zda výsledná poloha kluzných trnů odpovídá požadavkům dle normy ČSN 73 6123-1 a předpisu TKP 6, bylo vzhledem k vysoké přesnosti měření referenčním zařízením přistoupeno právě na tento způsob kalibrace vstupních hodnot X-Scanu. Měřením byly opět získány polohy a staničení kluzných trnů od počátku měření, čímž byla vnitřní hrana CB krytu (viz příloha č. 4).

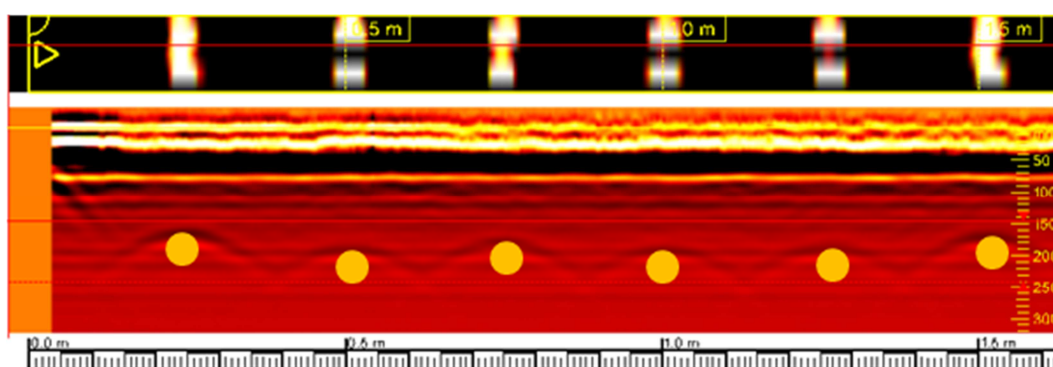
Co se týká vyhodnocení měření Ferroskanem, byly polohy kluzných trnů mimo měřitelný rozsah zařízení, z tohoto důvodu nebyly během měření získána žádná data pro srovnání proto zařízení nebylo zohledněno do dalších porovnání.

Za účelem znázornění záznamu měření CB krytu, byl vybrán úsek příčné spáry S1 (staničení 0 – 1,5 m). Na obrázcích 35 a 36 jsou zobrazeny podélné řezy vyhodnocených

dat z obou zařízení, za pomoci kterých byl v příslušných softwarech proveden odečet hloubky uložení kluzných trnů v horizontálním (staničení) a vertikálním (poloha) směru.



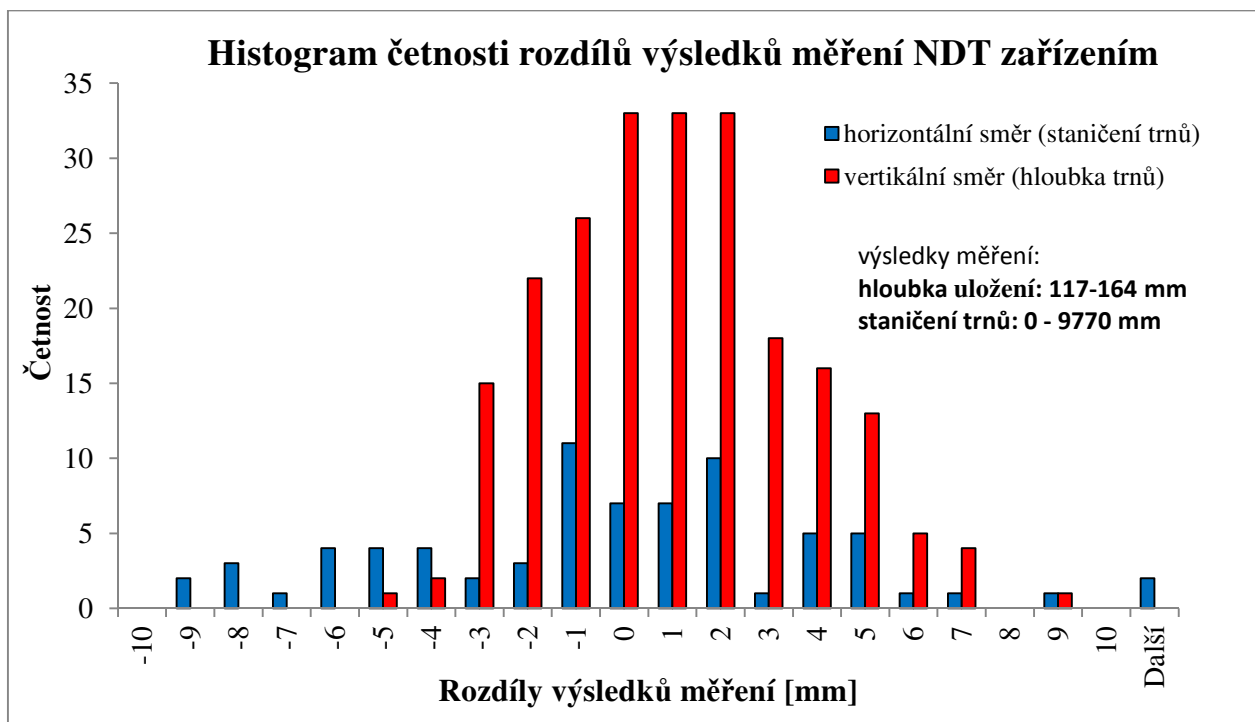
Obrázek 35: Upravená data získaná georadarem (GSSI-SIR30) z úseku spáry S1



Obrázek 36: Upravená data získaná X-Scanem v úseku spáry S1

V příčných řezech jsou viditelné části hyperbol představující signál, který byl odražen od horního povrchu kluzného trnu. Poloha (povrch) kluzného trnu se nachází vždy ve vrcholu této hyperboly. Pro znázornění jejich polohy byly v podélných řezech obr. 35 a 36 vyznačeny konkrétní pozice.

Porovnání výsledků obou zařízení ukazuje následující graf 5 (histogram), který vyjadřuje rozdíly výsledků měření z obou zařízení (georadarový vozík a X-Scan) získaných na dvou příčných spárách (S1 a S2). Celkem bylo hodnoceno 74 hodnot staničení a 222 hodnot uložení kluzných trnů v příčné spáře. Z grafu lze tvrdit, že rozdíly ve vertikálním směru jsou nižší než ve směru horizontálním. Přesto rozdíly v horizontálním směru (rozdíly ve staničení kluzných trnů) nejsou z hlediska ujeté vzdálenosti vysoké. Pro zjištění přesnosti měření zařízením X-Scan by bylo potřeba porovnat naměřené výsledky se skutečnou, ručně změřenou polohou kluzných trnů připravených před jejich zabetonováním, např. v pracovních spárách.



Graf 5: Histogram četnosti rozdílů výsledků měření

Vyhodnocení poloh kluzných trnů naměřených u obou pracovních spár bylo provedeno dle požadavků na správné uložení výztužných prvků dle ČSN 73 6123-1, je uvedeno v tabulkách 13, 15. Sumárně a pro představu jsou v tabulkách 12 a 14 uvedeny hloubky uložení naměřených kluzných trnů.

Tabulka 12: Hloubky uložení kluzných trnů v příčné spáře S1 (k ose KT)

S1	Hilti PS 1000 X-Scan	georadar (GSSI-SIR30)
Požadovaná hloubka	147,5 mm	147,5 mm
Průměrná hloubka:	146,7 mm	151,0 mm
Minimální hloubka	118,0 mm	117,0 mm
Maximální hloubka	160,0 mm	164,0 mm

Tabulka 13: Vyhodnocení požadavků na uložení kluzných trnů dle ČSN 73 6123-1

S1	Hilti PS 1000 X-Scan	georadar (GSSI-SIR30)
Požadavek 75 % (do 30 mm)	97 %	97 %
Požadavek 25 % (do 50 mm)	3 %	3 %
Nevyhovující	0 %	0 %
Počet chybějících KT	0	0

Tabulka 14: Hloubky uložení kluzných trnů v příčné spáře S2 (k ose KT)

S2	Hilti PS 1000 X-Scan	georadar (GSSI-SIR30)
Požadovaná hloubka	147,5 mm	147,5 mm
Průměrná hloubka:	148,2 mm	148,3 mm
Minimální hloubka	140,0 mm	140,0 mm
Maximální hloubka	154,0 mm	156,0 mm

Tabulka 15: Vyhodnocení požadavků na uložení kluzných trnů dle ČSN 73 6123-1

S2	Hilti PS 1000 X-Scan	georadar (GSSI-SIR30)
Požadavek 75 % (do 30 mm)	100 %	100 %
Požadavek 25 % (do 50 mm)	0 %	0 %
Nevyhovující	0 %	0 %
Počet chybějících KT	0	0

Se záměrem porovnání poloh kluzných trnů naměřených X-Scanem a georadarovým vozíkem (GSSI-SIR30) vůči požadované poloze definované v normě ČSN 73 6123-1, byly vytvořeny grafy 8 a 9 (viz příloha č. 4).

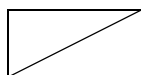
Pro porovnání staničení a hloubky uložení kluzných trnů získaných georadarovým vozíkem (GSSI-SIR30) a X-Scanem v příčných spárách S1 s S2 byly vytvořeny tabulky 42 a 43, které jsou vzhledem ke svému rozsahu umístěny v příloze č. 4. V tabulkách jsou uvedeny rozdíly mezi hodnotami staničení a hloubkami uložení kluzných trnů naměřenými oběma přístroji, kdy georadarový vozík (GSSI-SIR30) byl použit jako referenční zařízení.

Na základě výsledných hodnot experimentálního měření byla pro kompletní srovnání všech použitých přístrojových zařízení vytvořena tabulka 16, za pomoci které je znázorněna využitelnost jednotlivých zařízení při detekci požadovaných prvků v ŽB objektech.

Tabulka 16: Zhodnocení využitelnosti přístrojového zařízení

Srovnání zařízení			Bosch D-Tect 100	Bosch D-Tect 150	Hilti PS 50	Profometr 4	Hilti Feroscan	Hilti X-Scan	georadar (GSSI-SIR30)
Výztuž	< 60 mm	pozice	●	●	●	●	●	●	●
		krytí	●	●	●	●	●	●	●
		ϕ	●	●	●			●	
	60 -100 mm	pozice	●	●	●	●	●	●	●
		krytí	●	●	●	●	●	●	●
		ϕ	●	●	●			●	
	> 100 mm	pozice	●	●	●	●	●	●	●
		krytí	●	●	●	●	●	●	●
		ϕ	●	●	●	●	●	●	
Podlahové topení (kov + PVC) ¹⁾			●	●	●	●	●		
Měděná trubka ²⁾			●	●	●	●	●		
Polystyrén ³⁾			●	●	●	●	●		
Dutiny + šterková hnízda ⁴⁾			●	●	●	●	●		
Dřevo ⁵⁾			●	●	●	●	●		
Grafický záznam ⁶⁾			●	●	●	●	●	●	

Použité symboly:



uvedené předměty nebyly daným
zařízením zkoumány



vhodné zařízení s vysokou přesností
s relativní chybou (0-10%)



vhodné zařízení s dobrou přesností
s relativní chybou (10-25%)



vhodné zařízení, s nižší přesností
s relativní chybou (25% a více)



nevhodné zařízení

¹⁾ při uložení předmětu v hloubce
36-53 mm

²⁾ při uložení předmětu v hloubce
53-55 mm

³⁾ při uložení předmětu v hloubce
120-150 mm

⁴⁾ při uložení předmětu v hloubce
120-170 mm

⁵⁾ při uložení předmětu v hloubce
240 mm

⁶⁾ jedná se o grafický výstup vhodný
pro následné využití v praxi

10. Diskuse výsledků měření

Z tabulky 3 uvedené v kapitole 9.1. vyplývá, že v případě měření laboratorní betonové desky, všechny přístroje, kromě zařízení Ferrosan, detekovaly zabudované předměty. Ferrosan neidentifikoval podlahové topení, ani měděnou trubku pravděpodobně proto, že pracuje na odlišném principu (*elektromagnetická indukce*) v používané metodě než ostatní přístroje, které byly při měření použity. Detekce tímto přístrojem je tedy spíše zaměřena na kovovou výztuž. Specifikem elektromagnetické indukce je skutečnost, že jestliže se v elektromagnetickém poli buzeném cívkou nachází kov, je její odezva mnohem delší a řídicí jednotka tento jev vyhodnotí jako přítomnost kovového předmětu.

Detekce vzduchové kaverny a polystyrénu (viz tab. 4) byla u betonové desky X-Scanem i přes jejich překrytí podlahovým topením potvrzena. To znamená, že změna *relativní permitivity* povrchu podlahového topení a v jeho okolí nebyla natolik velká, aby došlo k úplnému odrazu vysílaného signálu. Jak uvádí výsledky měření, lokalizace těchto objektů pod podlahovou trubkou byla velmi přesná. Jejich pozitivní detekce byla také zřejmě způsobená vlivem *vysokofrekvenčního elektromagnetického impulsu* o frekvencích řádově v jednotkách GHz, kterého X-Scan při měření využívá. Výstupy potvrzující detekci těchto objektů jsou uvedeny v tabulce 3 v kapitole 9.1. Problém nastal v případě detekce dřevěné latě, která byla překryta (zastíněna) prutovou výztuží. Její identifikace nebyla pravděpodobně z výše uvedených důvodů nalezena, jelikož vysílaný signál neprochází kovovými materiály a větší energie signálu byla od výztuže odražena. Dalším důvodem mohla být vyšší zvolená hloubka uložení prvku v laboratorní desce, kdy síla signálu již nebyla v této hloubce natolik velká, aby byl daný prvek zaznamenán.

U měření svislé ŽB konstrukce bylo v tabulce 5 a 6 v kapitole 9.2 potvrzeno omezení detekce výztuže ve větších hloubkách zařízeními Profometr 4 a Ferrosan. Výztuže, které byly uloženy ve větších hloubkách (více než 100 mm), nebyly těmito přístroji identifikovány (chybějící hodnoty v tabulkách) na rozdíl od zařízení X-Scan. Toto zařízení pozici hlouběji uložených výztuží detekoval pravděpodobně z toho důvodu, že pracuje na odlišném fyzikálním principu.

V případě měření, které bylo provedeno pro porovnání naměřených hodnot u ŽB stěny (plošný scan P2) zařízením X-Scan a Ferrosan v jiném skenovacím režimu, byla pomocí Ferrosanu nalezena výztuž s vyšší hodnotou krytí. K detekci patrně došlo na základě změny skenovacího režimu, ve kterém integrovaný software zařízení zvýšil citlivost cívek měřicí sondy. Získané hodnoty krytí jsou uvedeny v tabulce 30 v příloze č. 2.

U chybějících hodnot v tabulkách 33, 34, 38, 39 v příloze č. 3 bylo potvrzeno ovlivnění výsledků měření struskovým kamenivem. Ovlivnění bylo pravděpodobně způsobeno vodivými prvky (např. větší množství vody, uhlíku, kovu, soli, chlóru apod.), které jsou většinou součástí chemického složení tohoto kameniva. U panelu M4-4 s prutovou výztuží o průměru 14 mm nebylo ovlivnění struskovým kamenivem natolik zásadní, aby znemožnilo detekci většiny zabudované výztuže použitými přístroji, využívající jak princip *radaru*, tak vliv *vřivých proudů* na elektromagnetické pole měřicí sondy. V případě panelu M2-4 vyztuženého kari sítí o průměru 6 mm byl vliv struskového kameniva natolik velký, že přístrojová zařízení až na Ferrosan a X-Scan výztuž vůbec neidentifikovala. Pro znázornění vlivu struskového kameniva na výsledky měření byly vytvořeny obrázky v tabulkách 31 a 36 (viz příloha č. 3) znázorňující vyhodnocená data.

U srovnávacího měření provedeného za účelem zjištění polohy kluzných trnů v CB krytu bylo měření zařízením Ferrosan neúspěšné a proto bylo vyloučeno z dalších porovnávání. Toto zařízení nezaznamenalo žádný ze 74 kluzných trnů uložených v hloubce 117 – 164 mm. Tato skutečnost byla patrně způsobena nedostačující velikostí průměru trnů vzhledem k jejich hloubce uložení.

Podle znázornění četnosti rozdílů výsledků měření (viz graf 5) je přesnost hodnot získaných zařízením X-Scan vzhledem k referenčním hodnotám získaných z akreditované zkoušky, která byla provedena georadarovým vozíkem poměrně vysoká. Je možné konstatovat, že zařízení X-Scan by bylo možné pro danou aplikaci využívat. Avšak nevýhodou X-Scanu oproti georadaru (GSSI-SIR30) je vyšší časová náročnost v přípravě a samotném měření a to v poměru přibližně 4 : 1 (X-Scan : georadar (GSSI-SIR30)).

11. Závěr

Cílem teoretické části práce bylo popsat a uvést diagnostické metody využívané pro detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích. Pozornost byla věnována metodám, které byly použity v experimentální části práce. V této části práce byla také uvedena a popsána vybraná přístrojová zařízení, která pro měření využívá právě těchto metod. Kromě popisu přístrojových zařízení, zde byly uvedeny specifikace dané výrobcem včetně definice jejich pracovních režimů. Součástí popisů byly zpracovány postupy měření sestavené na základě vlastních zkušeností získaných v průběhu praktických měření, ale také z poznatků získaných z odborné literatury.

Praktická část práce se zabývala experimentálním měřením, které bylo provedené vybraným přístrojovým zařízením. Cílem experimentu bylo srovnání/porovnání výsledků nedestruktivních měření na základě skutečných a referenčních hodnot získaných při detekci nejen ocelové výztuže, ale i nekovových materiálů. Porovnání bylo zaměřeno na polohu a hloubku uložení těchto předmětů včetně detekce vad na vybraných ŽB objektech. Experimentální měření bylo provedeno jak na laboratorním objektu, tak i na reálných železobetonových konstrukcích. Na základě informací a poznatků obdržených v průběhu experimentálního měření bylo provedeno zhodnocení využitelnosti vybraných přístrojových zařízení.

Ze zkušeností získaných při zpracování dat experimentálního měření je možné konstatovat, že pro objektivní stanovení požadovaných parametrů předmětů zabudovaných do stavebních konstrukcí, jsou nedestruktivní metody vhodnou kombinací pro metody diagnostických průzkumů. Jejich ověření a prokázání výsledků měření je prováděno destruktivními metodami. Přínosným se také prokázalo kombinovat nedestruktivní zařízení využívající rozdílné metody detekce.

12. Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Liboru Žídkovi za vedení a pomoci při zpracování této práce.

Dále bych rád poděkoval Ing. Radku Matulovi Ph.D. za věcné rady a pomoc při zpracování dat z měření georadarovým vozíkem (GSSI-SIR30).

Na závěr bych také rád poděkoval kolegům ze společnosti SQZ za podporu a za možnost využití georadarového vozíku pro experimentální měření.

13. Seznam použitých pramenů

Literatura:

- [1] ANTON, O.: *Základy zkušebnictví: návody do cvičení*. Brno: CERM, 2002. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2079-0
- [2] CIKRLE, P.: *Význam nedestruktivních diagnostických metod pro hodnocení železobetonových konstrukcí: Importance of non-destructive diagnostic methods for surveying steel-reinforced concrete structures: zkrácená verze habilitační práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2017. ISBN 978-0-214-5464-4
- [3] CIKRLE, P.; ANTON, O.; HEŘMÁNKOVÁ, V.: *Zkoušení a jakost ve stavebnictví*. Brno, 2014. ISBN 978-80-214-5032-5
- [4] GÖSSEL, P.; LEUTHÄUSEROVÁ, G.: *Architektura 20. století*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Slovart, 2006. ISBN 80-7209-814-4
- [5] EMMONS, P. H.; Brandon W. E.: *Concrete repair and maintenance illustrated: problem analysis, repair strategy, techniques*. Kingston, MA: R.S. Means Co., c1993. ISBN 978-0-87629-286-0
- [6] HOBST, L.; ADÁMEK, J.; CIKRLE, P.; SCHMID, P.: *Diagnostika stavebních konstrukcí, přednášky*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005
- [7] KOPEC, B.: *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4
- [8] MATULA, R.: *Nedestruktivní diagnostika konstrukčních vozovek pozemních komunikací georadarem.*: Disertační práce, Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2013
- [9] SCHMID, P.: *Základy zkušebnictví*. Vyd. 2. opr. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2584-9

- [10] SEIDLEROVÁ, I.; DOHNÁLEK, J.: *Dějiny betonového stavitelství*. Praha: Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 1999. Betonové stavitelství. ISBN 80-86364-01-1
- [11] PRIGANC, S.: *Diagnostika prvků betonových konstrukcí*. Košice: Stavebná fakulta TU, 2003. ISBN 80-7099-937-3
- [12] ŽÍDEK, L.; MEC, P.; BUJDOŠ, D.: *Diagnostika staveb*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební

Technické normy a předpisy:

- [13] ČSN 73 2011: *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*, (2012)
- [14] ČSN 73 1373: *Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*, (2011)
- [15] ČSN 73 6123-1: *Stavba vozovek – Cementobetonové kryty – Část 1: Provádění a kontrola shody* (2014)
- [16] *Technické kvalitativní podmínky, kap 6: Cementobetonový kryt, technické kvalitativní podmínky staveb Ministerstva dopravy*, Praha, (2006)
- [17] *Technické podmínky: Georadarová metoda konstrukcí pozemních komunikací, technické podmínky Ministerstva dopravy*, Praha, (2011)

Ostatní podklady:

- [18] Metodika měření a vyhodnocení polohy kluzných trnů a kotev ve spárách cementobetonových krytů vozovek dvoukanálovým georadarem, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i, (2016)

Odborné články:

- [19] BILČÍK, J.: *Diagnostika betonových konstrukcí*. ASB-portal [online]. 2008 [cit. 9.10.2017]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/diagnostika-betonovych-konstrukci>

- [20] MATULA, R.: *Měření polohy kluzných trnů a kotev dvoukanálovým georadarem*. Odborný článek z konference Betonové vozovky 2016. Brno, (2016)
- [21] ANTON, O.; CIKRLE, P.; HEŘMÁNKOVÁ, V.: *Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech*. Tzbinfo [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 27.1.2014 [cit. 11.10.2017]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10800-zkusenosti-s-georadarem-pri-stavebne-technicky-pruzkumech>

Pracovní návody:

- [22] Bosch D-Tect 100 - Návod k použití výrobce Bosch
- [23] Bosch D-Tect 150 - Návod k použití výrobce Bosch
- [24] Profometr PM-600/PM-630 - Návod k použití výrobce Proceq
- [25] Hilti PS 50 Multidetektor - Návod k použití výrobce Hilti
- [26] Hilti PS 200 Ferrosan – Technická podpora v softwaru Hilti PROFIS Ferrosan
- [27] Hilti PS 1000 X-Scan – Technická podpora v softwaru Hilti PROFIS PS 1000

Internetové odkazy:

- [28] [online], [cit 14.10.2017]. Dostupné z: <https://homel.vsb.cz/~jur286/mast/tenzory>
- [29] [online], [cit 14.10.2017]. Dostupné z: <https://www.hilti.com/measuring-systems/detection-systems>
- [30] [online], [cit 18.10.2017]. Dostupné z: <https://gpr.cdvinfo.cz/zakladni-popis-metody/>
- [31] [online], [cit 2.11.2017]. Dostupné z: <https://gpr.cdvinfo.cz/zakladni-popis-metody/>
- [32] [online], [cit 15.11.2017]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz>
- [33] [online], [cit 22.11.2017] Dostupné z: <http://stepro.eu/stavebne-technicky-pruzkum>

14. Přílohy

Seznam příloh:

Příloha č. 1: Výsledky měření - Laboratorní betonová deska

Příloha č. 2: Výsledky měření - Pozemní stavba - vybrané konstrukční prvky

Příloha č. 3: Výsledky měření - Silniční panely

Příloha č. 4: Výsledky měření - Cementobetonový kryt